



SKRIPSI

**PENGARUH JENIS MEMBRAN TERHADAP
KINERJA ELEKTRODA PEMBANDING
Ag/AgCl**

**ANANG MARYANTO
1409100017**

**Dosen Pembimbing
Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si.**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



SCRIPT

**THE EFFECT OF VARIOUS MEMBRANES
FOR PERFORMANCE OF Ag/AgCl
REFERENCE ELECTRODE**

**ANANG MARYANTO
1409100017**

**Supervisor
Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si.**

**CHEMISTRY DEPARTMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH JENIS MEMBRAN TERHADAP
KINERJA ELEKTRODA PEMBANDING**

Ag/AgCl

SKRIPSI

Disusun Oleh:

ANANG MARYANTO
1409100017

Surabaya, 22 Juli 2016

Disetujui oleh Dosen Pembimbing,



Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si.
NIP. 19740428 199802 1 001

Mengetahui :
Ketua Jurusan Kimia,



Prof. Dr. Didik Prasetyoko M.Sc
NIP. 19710616 199703 1 002

PENGARUH JENIS MEMBRAN TERHADAP KINERJA ELEKTRODA PEMBANDING Ag/AgCl

Nama : Anang Maryanto
NRP : 1409 100 017
Jurusan : Kimia FMIPA - ITS
Dosen Pembimbing : Dr.rer.nat Fredy Kurniawan

Abstrak

Telah dibuat elektroda pembanding Ag/AgCl modifikasi yang sederhana dibandingkan dengan elektroda Ag/AgCl komersial dengan menggunakan variasi jenis membran. Membran yang digunakan berasal dari bahan yang mudah diperoleh, yaitu selulosa dari kacang hijau, poliisoprena dari lateks, grafit pensil, kaolin dari keramik ubin, dan LDPE. Kinerja dari elektroda pembanding dapat diamati dengan mengukur larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ 0,1 M.. Pengukuran larutan menggunakan sistem tiga elektroda dengan teknik voltametri. Tiga elektroda yang digunakan yaitu elektroda emas sebagai elektroda kerja, elektroda platina sebagai elektroda pembantu, dan elektroda Ag/AgCl modifikasi dan komersil sebagai elektroda pembanding. Dilakukan variasi waktu pengukuran pada setiap 2 jam selama 24 jam, tiap 24 jam selama 6 hari, tiap 3 hari selama 6 hari. Voltamogram yang diperoleh dari hasil pengukuran elektroda pembanding modifikasi dibandingkan dengan hasil pengukuran elektroda pembanding komersil menggunakan uji F an uji t untuk menentukan kinerja dari elektroda pembanding buatan sendiri. Hasil uji statistik menunjukkan elektroda modifilaksi dengan menggunakan membran poliisoprena dan LDPE memiliki kinerja yang baik. Sedangkan elektroda pembanding dengan membran selulosa, grafit, dan kaolin memiliki kinerja yang kurang baik.

Kata kunci : Elektroda, voltametri, Ag/AgCl

THE EFFECT OF VARIOUS MEMBRANES FOR PERFORMANCE OF Ag/AgCl REFFERENCE ELECTRODE

Name : Anang Maryanto
NRP : 1409 100 017
Departement : Kimia FMIPA - ITS
Supervisor : Dr.rer.nat Fredy Kurniawan, M.Si

Abstract

Refference electrode Ag/AgCl has been synthesized which smaller and simpler than commercial one. The electrodes were made using various membranes. The membranes were made from material that easily obtained, e.g. cellulose from mungbean, polyisoprene from tire rubber, graphite from pencil, kaolinite from ceramic tile, and LDPE. The performance of reference electrode was measured using 0.1 M $K_4[Fe(CN)_6]$ solution. The measurement of the solution was using three electrode systems with voltametry method. The electrode that used were gold electrode as working electrode, platinum electrode as counter electrode, and modified Ag/AgCl electrode as reference electrode. The various measuring time were 2 hours during 24 hours, 24 hours during 6 days, 3 days during 6 days. The voltamograms of modified refrence electrode were compared with voltamograms of comercial electrode using F-test and t-test. The result shown modified reference electrode using polyisoprene and LDPE as membrane have good performance. Whereas, modified refference electrode using cellulose, graphite, and kaolinite membrane show bad performance.

Keyword : electrode, voltametry, Ag/AgCl

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Potensiometri	5
2.2 Voltametri	6
2.2.1 Elektroda Kerja	7
2.2.2 Elektroda Pembanding	8
2.2.3 Elektroda Pembantu	12
2.3 Arus Dalam Voltametri	12
2.4 Arus Non Faraday	14
2.5 Voltametri Siklik	15
2.6 LDPE (<i>Low Density Polyethylen</i>)	19
2.7 Keramik	20
2.8 Kacang Hijau	21
2.9 Poliisoprena	22
2.10 Grafit	23

BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Alat dan Bahan	25
3.1.1 Peralatan	25
3.1.2 Bahan	25
3.2 Prosedur Penelitian	25
3.2.1 Pelapisan Ag/AgCl	25
3.2.2 Pembuatan Membran	26
3.2.3 Pembuatan Elektroda Pembanding Ag/AgCl	26
3.2.4 Pengukuran Elektroda Ag/AgCl	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Pelapisan AgCl	29
4.2 Pembuatan Membran dan Elektroda Pembanding Ag/AgC	32
4.3 Pengujian Elektroda Pembanding	36
4.3.1 Elektroda Pembanding Komersil	37
4.3.2 Elektroda Pembanding Membran Polisioprena	40
4.3.3 Elektroda Pembanding Membran LDPE	72
4.3.4 Elektroda Pembanding Membran Kaolin	103
4.3.5 Elektroda Pembanding Membran Selulosa	104
4.3.6 Elektroda Pembanding Membran Grafit	105
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	109
5.1 Kesimpulan	109
5.2 Saran	110
DAFTAR PUSTAKA	111
LAMPIRAN	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul Gambar	Halaman
2.1	Sel Potensiometri	5
2.2	Sel Voltametri	7
2.3	Skema elektroda standar hidrogen	9
2.4	Skema elektroda kalomel jenuh	10
2.5	Skema elektroda Ag/AgCl	11
2.6	Diagram Ladder	13
2.7	Transport ion $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ menuju $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ menjauhi elektroda	14
2.8	Siklus Voltametri Siklik	15
2.9	Voltamogram Elektroda Platina	17
2.10	Butiran LDPE	20
2.11	Struktur kaolin merupakan salah satu penyusun porselin	21
2.12	Struktur Selulosa	22
2.13	Struktur cis-1,4 poliisoprena	23
2.14	Grafit	23
2.15	Struktur Grafit	24
3.1	Elektroda Pembanding Ag/AgCl	26
4.1	Perak Padatan	29
4.2	Peleburan Perak	30
4.3	Alat Cetak Perak	30
4.4	Alat Pembentuk Kawat Perak	31
4.5	Kawat Perak	31
4.6	Kawat Ag/AgCl	32
4.7	Elektroda komersil	33
4.8	Elektroda modifikasi membran seluosa	34
4.9	Elektroda modifikasi membran grafit	34
4.10	Elektroda modifikasi membran kaolin	35
4.11	Elektroda modifikasi membran poliisoprena	35
4.12	Elektroda modifikasi membran LDPE	36

4.13	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda komersil 2- 24 jam	38
4.14	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda komersil 48 – 168 jam	38
4.15	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda komersil 240 – 316 jam	39
4.16	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena a 2 – 24 jam	41
4.17	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena a 48 – 168 jam	42
4.18	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena a 240 – 312 jam	42
4.19	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena b 2 – 24 jam	51
4.20	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena b 48 – 168 jam	52
4.21	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena b 240 – 312 jam	52
4.22	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena c 2 – 24 jam	62
4.23	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena c 48 – 144 jam	62
4.24	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena c 240 – 312 jam	63
4.25	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$	73

	dengan elektroda bermembran LDPE a 2 – 24 jam	
4.26	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE a 48 – 144 jam	73
4.27	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE a 240 – 312 jam	74
4.28	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE b 2 – 24 jam	83
4.29	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE b 48 – 144 jam	84
4.30	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE b 240 – 312 jam	84
4.31	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE c 2 – 24 jam	93
4.32	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE c 48 – 168 jam	94
4.33	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE c 240 – 312 jam	94
4.34	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran SiO_2	103
4.35	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran selulosa	105
4.36	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit a 2 – 10 jam	105
4.37	Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit b 2	106

– 10 jam

- 4.38 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$
dengan elektroda bermembran grafit c 2
– 10 jam

107

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul Tabel	Halaman
4.1	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda komersil	40
4.2	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena	43
4.3	Perbandingan siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena	44
4.4	Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a	45
4.5	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a	45
4.6	Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a	46
4.7	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a	46
4.8	Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a	47
4.9	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a	48
4.10	Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a	48
4.11	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a	49
4.12	Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a	49
4.13	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan	50

	elektroda membran poliisoprena a	
4.14	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena b	53
4.15	Perbandingan siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b	54
4.16	Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b	55
4.17	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b	55
4.18	Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b	56
4.19	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b	57
4.20	Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b	57
4.21	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b	58
4.22	Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b	58
4.23	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b	59
4.24	Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b	60
4.25	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b	60
4.26	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena c	63
4.27	Perbandingan siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c	65
4.28	Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil	66

	dengan elektroda poliisoprena c	
4.29	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c	66
4.30	Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c	67
4.31	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c	67
4.32	Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c	68
4.33	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c	69
4.34	Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c	69
4.35	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c	70
4.36	Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c	70
4.37	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c	71
4.38	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE a	74
4.39	Perbandingan siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda LDPE a	76
4.40	Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda LDPE a	77
4.41	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a	77
4.42	Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda LDPE a	78

4.43	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a	78
4.44	Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda LDPE a	79
4.45	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a	80
4.46	Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda LDPE a	80
4.47	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a	81
4.48	Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda LDPE a	81
4.49	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a	82
4.50	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE b	85
4.51	Perbandingan siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda LDPE b	86
4.52	Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda LDPE b	87
4.53	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b	87
4.54	Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda LDPE b	88
4.55	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b	89
4.56	Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda LDPE b	89
4.57	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk	90

	rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b	
4.58	Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda LDPE b	90
4.59	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b	91
4.60	Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda LDPE b	92
4.61	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b	92
4.62	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE c	95
4.63	Perbandingan siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda LDPE c	96
4.64	Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda LDPE c	97
4.65	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c	97
4.66	Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda LDPE c	98
4.67	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c	99
4.68	Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda LDPE c	99
4.69	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c	100
4.70	Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda LDPE c	100
4.71	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan	101

	elektroda membran LDPEc	
4.72	Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda LDPE c	102
4.73	Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c	102
4.74	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran SiO_2 a	104
4.75	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit a	108
4.76	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit b	108
4.77	Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit	108

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Skema Kerja	115

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Pembuatan elektroda pembanding Ag/AgCl dengan variasi jenis membran yaitu membran poliisoprena, LDPE, kaolin, selulosa dan grafit telah dilakukan dengan ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan elektroda komersil. Pengukuran dilakukan dengan teknik voltametri siklik dengan sistem tiga elektroda. Kinerja elektroda pembanding modifikasi diuji dengan menggunakan uji signifikasi (uji F dan uji t) pada variasi waktu tiap 2 jam selama 24 jam, tiap 24 jam selama 6 hari, tiap 3 hari sebanyak dua kali. Berdasarkan hasil voltamogram menunjukkan elektroda modifikasi menggunakan membran poliisoprena, LDPE, selulosa, kaolin dan grafit dapat digunakan sebagai alternatif pengganti membran silika, karena dapat menampilkan puncak oksidasi dan reduksi.

Elektroda pembanding dengan membran poliisoprena dan LDPE yang mempunyai daya tahan yang baik, karena dapat digunakan pengukuran selama variasi waktu yang ditentukan. Sedangkan elektroda pembanding modifikasi dengan membran selulosa hanya dapat digunakan pada tiap 2 jam pertama. Elektroda pembanding modifikasi dengan membran kaolin dapat digunakan sampai tiap 2 jam ke-7. Elektroda pembanding modifikasi dengan membran grafit dapat digunakan sampai tiap 2 jam ke-5.

Berdasarkan uji statistik menunjukkan elektroda modifikasi menggunakan membran poliisoprena dan LDPE dapat dilakukan uji F dan uji t, yaitu membandingkan hasil potensial oksidasi dan reduksi antara elektroda modifikasi dengan elektroda komersil. Sedangkan elektroda modifikasi dengan membran selulosa, kaolin dan grafit tidak dapat dilakukan uji F dan uji t. Sehingga kinerja elektroda pembanding modifikasi dengan membran poliisoprena dan LDPE lebih baik dibanding selulosa, kaolin dan grafit.

5.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pembuatan elektroda ini, khususnya mencari komposisi yang tepat penyusun membran yang telah digunakan. Karena setiap membran yang telah digunakan memberikan sinyal positif, terbukti pada setiap pengujian dengan teknik voltametri siklik menggunakan berbagai jenis membran dapat muncul puncak oksidasi reduksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, A.A., dan Kotaro, K., 2009. *Latex: A Model for Understanding Mechanism, Ecology, and Evolution of Plant Defense Against Herbivory*. Jepang: National Institute of Agrobiological Science.
- Anwar, F., Latif, S., Przybylski, R., Sultana, B., dan Ashraf, M., 2007. "Chemical Composition and Antioxidant Activity of Seeds of Different Cultivars of Mungbean". *Journal Of Food Science* 72: 503-510.
- Ay, N., dan Unal, M., 2000. "The Use of Waste Ceramic Tile in Cement Production". *Cement and Concrete Research* 30: 497-499.
- Bard, A.J., dan Faulker, L.R., 1980. *Electrochemical Methods*. New York: John Wiley & Son. Inc.
- Dondi, M., Raimundo, M., dan Zanelli, C., 2014. "Clays and Bodies for Ceramic tiles: Reappraisal and Technological Classification". *Applied clay science* 96: 91-109.
- Gao, P., Xianbo, J., Dihua, W., Xiaohong, H., dan Geroge, Z., 2005. "A Quartz Sealed Ag/AgCl Reference Electrode for CaCl_2 Base Molten Salts." *Electrocehmical Chemistry* 579: 321-328.
- Harvey, D., 2000. *Modern Analytical Chemistry*. North America: Mc Graw-Hill.
- Inagaki, M. dan Kang F., 2014. *Materials Science and Engineering of Carbon : Fundamental Second Edition*. Tsinghua University: Elsevier.

- ISO 13006. 2012. *Ceramic tiles — Definitions, Classification, Characteristics and Marking*. Switzerland: ISO Copyright Office.
- Juwana, A., 2011. *Optimalisasi Suhu Pemanasan (Pemasakan dan Pasteurisasi) Susu Kacang Hijau (Vigna radiata (L) R. Wilczek) Berdasarkan Karakteristik Fisik, Kimia, Mikrobiologi, dan Sensori*. Skripsi. Universitas Negeri Soegijapranata. Semarang
- Massey, L.K., 2004. *Film Properties of Plastics and Elastomer (A Guide to Non-Wovens In Packaging Application) Second Edition*. Amerika Serikat: Plastics and Design Library / Willaim Andrew.
- Nurminah, M., 2002. *Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas Serta Pengaruhnya Terhadap Bahan yang Dikemas*. Skripsi. Universitas Sumatra Utara. Medan
- Pierson, H. O., 1993. *Handbook of Carbon, Graphite, Diamond, and Fullerenes*. New Jersey: Noyes Publication.
- Robinson, J.W., 2005. *Undergraduate Instrumental Analysis*. New York: Marcel Dekker.
- Rouessac, F., 2007. *Chemical Analysis*. Inggris: John Wiley & Son Ltd.
- Tripathy, S., Saini, D.S., dan Bhattacharya, D., 2016. “Synthesis and Fabrication of MgAl_2O_4 Ceramic Foam Via a Simple, Low-cost, and Eco-friendly Method.” *Journal of Asian Ceramic Societies* 4: 149 – 154

Wang, J., 2000. *Analytical Electrochemistry 2nd Edition*. New York: John Wiley & Son ltd.

Zulaekha, T., Masykur, A., dan Wahyuningsih, S., 2006. *Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Selektif Ion S^{3-} dengan Komposit Ag_2S , Grafit, dan Parafin*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret Surakarta. Surakarta

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Anang Maryanto lahir pada 25 Maret 1991 di Kota Madiun. Penulis menamatkan pendidikan secara formal TK RA Al-Hiayah (1996-1997) SDN 02 Manisrejo (1997-2003) SMPN 01 Madiun (2003-2006) SMAN 01 Madiun (2006-2009) penulis melanjutkan jenjang pendidikan S1 dan diterima di Jurusan Kimia FMIPA-ITS dengan NRP 1409100017 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri tahun 2009.

Selama kuliah, penulis aktif di berbagai organisasi kemahasiswaan yaitu Divisi Minat dan Bakat HIMKA-ITS (2010-2011), Kabinet HIMKA-ITS sebagai Ketua Himpunan (2011-2012), aktif sebagai anggota Futsal Jurusan Kimia. Beberapa pelatihan yang pernah diikuti penulis antara lain LKMM Pra-TD FMIPA, LKMM TD HIMKA. Dalam perkuliahan penulis mendapat banyak bimbingan dari Drs. Eko Santoso M.Si selaku dosen wali. Penulis mengambil Tugas Akhir di bidang Instrumenasi dan Sains Analitik dibawah bimbingan Dr.rer.nat Fredy Kurniawan dalam menyelesaikan jenjang pendidikan S1 di Jurusan Kimia FMIPA ITS. Semoga hasil penelitian yang ditulis dalam penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan memberikan inspirasi untuk kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang ilmu Kimia. Penulis dapat dihubungi melalui *email* anangxxv@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain yaitu kowi, kempus, blendes, palu, cetakan kawat perak, tang, potensiostat, kabel, penjepit buaya, baterai 1,5 V, gunting, suntikan, gelas piala, pipet tetes, labu ukur. Potensiostat eDAQ E161 yang terhubung dengan corder 410 dan menggunakan software e-chem vs 201 dengan menggunakan tiga jenis elektroda yaitu, emas sebagai elektroda kerja, Ag/AgCl komersial dan Ag/AgCl buatan sendiri sebagai elektroda pembanding, dan Pt sebagai elektroda bantu.

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain yaitu bijih perak murni, borak, pipa polietilen dengan diameter 2 mm, Larutan KCl 3 M, larutan KCl 0,1 M, larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ 0,1 M. Karet ban, biji kacang hijau, keramik ubin, LDPE, grafit digunakan sebagai bahan alternatif pengganti membran silika pada elektroda pembanding Ag/AgCl.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Pelapisan Ag/AgCl

Bijih perak murni diproses menjadi bentuk kawat dengan diameter 0,26 mm. Kawat perak dipotong dengan ukuran 7 cm sebanyak 5 buah. Kawat perak pertama ujungnya disambungkan dengan kabel tembaga dengan rangkaian sedemikian rupa. Larutan KCl 1 M sebanyak 100 mL dimasukkan dalam gelas piala ukuran 150 mL. Baterai 1,5 V dirangkai secara seri, kemudian masing-masing kutub baterai dihubungkan dengan kabel tembaga yang sudah terhubung dengan kawat perak. Kemudian kedua kawat dicelupkan ke dalam larutan KCl 1M

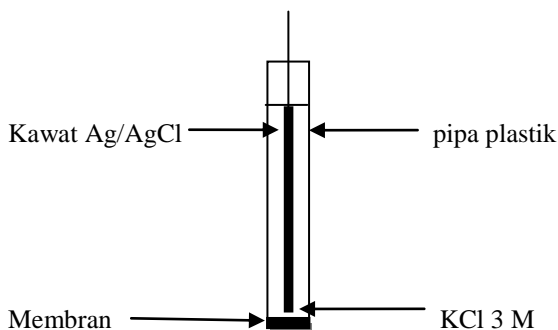
selama 1,5 menit. Kemudian kawat diangkat dan dikeringkan AgCl yang menempel pada kawat perak. Kawat Ag/AgCl akan berwarna hitam keabu-abuan.

3.2.2 Pembuatan Membran

Disiapkan karet ban, grafit pensil, keramik ubin, biji kacang hijau, LDPE. Bahan-bahan membran tersebut dibentuk menjadi lingkaran dengan diameter tidak melebihi diameter pipa polietilen yang akan digunakan sebagai elektroda pembantu. Setelah semua membran dibentuk lingkaran, siap digunakan menjadi membran penutup elektroda. Masing-masing membran dibuat sebanyak 3 buah.

3.2.3 Pembuatan Elektroda Pembanding Ag/AgCl

Bahan-bahan berupa pipa polietilen, kawat Ag/AgCl, larutan KCl 3M, dan membran disiapkan. Pipa polietilen disumbat ujungnya dengan membran. Pipa yang sudah disumbat dengan membran direndam dengan larutan KCl 3 M selama 1 hari. Kemudian pipa polietilen diangkat dan dikeringkan. Pipa polietilen diisi dengan larutan KCl 3 M, kemudian dimasukkan kawat Ag/AgCl. Susunan bahan elektroda seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Elektroda Pembanding Ag/AgCl

Membran yang digunakan yaitu dengan variasi jenis membran yang berbeda serta masing-masing variasi membran sebanyak 3 buah.

3.2.4 Pengukuran Elektroda Ag/AgCl

Pengukuran elektrokimia dilakukan dengan menggunakan teknik voltametri siklik, dengan 3 jenis elektroda, emas sebagai elektroda kerja, Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding, dan Pt sebagai elektroda pembantu. Larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ 0,1 M dalam KCl 0,1 M dimasukkan ke dalam sampel holder. Ketiga elektroda pada sampel holder. Potensiostat dioperasikan dengan parameter voltametri siklik (CV), pada potensial -500 mV sampai 800 mV dengan kecepatan sapuan 100mV/s dengan 5 kali pengulangan siklik. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap variasi membran. Dilakukan juga pengukuran sebanyak 3 kali untuk variasi elektroda lateks dan plastik.

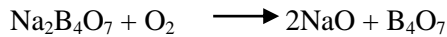
“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pelapisan AgCl

Bijih perak murni disiapkan sebesar 5 gram. Bijih perak dimasukkan ke dalam kowi, wadah berbentuk cawan terbuat dari tanah liat, dan selanjutnya ditambahkan borak. Borak digunakan untuk meningkatkan suhu pembakaran. Borak terbakar sempurna saat pembakaran perak, sehingga tidak akan menempel pada perak. Reaksinya adalah sebagai berikut :



Perak dibakar dengan kempus dan bahan bakar bensin sampai membara dan mencair (Gambar 4.2). Kemudian perak dicetak bentuk memanjang (Gambar 4.3). Kawat perak yang berukuran awal 2,2 mm, dipanaskan menggunakan kempus sedang dan ditarik secara bertahap (Gambar 4.4) hingga mencapai ukuran yang diinginkan, yaitu 0,26 mm. Kawat tersebut kemudian dibentuk silinder seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.1 Perak padatan



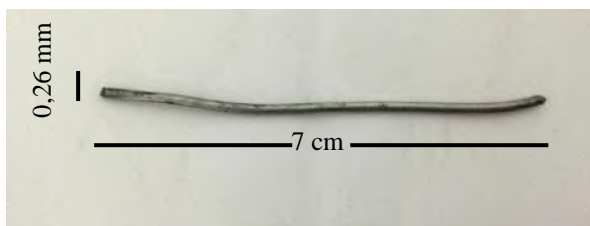
Gambar 4.2 Peleburan perak



Gambar 4.3 Alat cetak perak



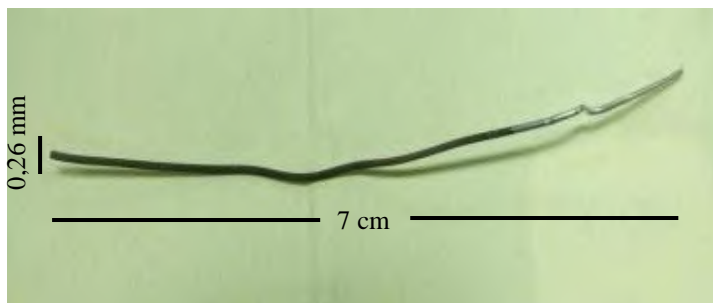
Gambar 4.4 Alat pembentuk kawat perak



Gambar 4.5 kawat perak

Kawat perak berdiameter 0,26 mm dipotong sebanyak 5 buah dengan ukuran 7 cm. Ujung kedua kawat dijepit dengan penjepit buaya yang sudah dihubungkan dengan kabel. Ujung kabel tersebut telah dihubungkan dengan baterai 1,5 V yang disusun secara seri. Disiapkan larutan KCl 1 M di dalam gelas beker 50 mL. Larutan KCl berfungsi sebagai elektrolit untuk proses pelapisan kawat Ag dengan AgCl. Baterai 1,5 V yang disusun secara seri berfungsi sebagai sumber listrik dalam proses elektrolisis. Setelah semua rangkaian siap, kawat perak direndam ke dalam larutan KCl 1 M untuk proses elektrolisis selama 1,5 menit. Kawat Ag berada pada posisi kutub positif sebagai anoda dan kawat Ag lainnya pada kutub negatif sebagai katoda. Pada kutub katoda terjadi reaksi reduksi dan kutub anoda mengalami oksidasi. Kawat pada kutub katoda terlapisi AgCl yang berwarna hitam keabu-abuan (Gambar 4.6). Lama proses elektrolisis akan mempengaruhi ketebalan AgCl yang melapisi kawat Ag. Semakin lama proses elektrolisis maka semakin tebal kawat Ag yang

terlapis sampai batas tertentu dan sebaliknya. Kawat Ag/AgCl yang telah terbentuk dikeringkan pada ruang terbuka.



Gambar 4.6 Kawat Ag/AgCl

4.2 Pembuatan Membran dan Elektroda Pembanding Ag/AgCl

Kacang hijau dibentuk model silinder dengan diameter 2 mm dan tebal 1 mm, membran dibuat sebanyak tiga buah. Membran yang telah dibentuk dimasukkan pada ujung pipa dan dilakukan pengecekan kebocoran dengan cara ditiup. Hal ini dimaksudkan agar saat pengukuran berlangsung tidak terjadi kebocoran. Pipa yang telah disumbat dengan membran kemudian direndam dengan KCl 3 M selama 24 jam. Hal ini dimaksudkan untuk aktivasi membran agar siap untuk digunakan pada saat pengukuran. Setelah dilakukan perendaman, dimasukkan KCl 3 M ke dalam pipa dengan menggunakan suntikan, diusahakan saat penyuntikkan KCl 3M tidak terdapat gelembung di dalam pipa. Susunan bahan-bahan elektroda terlihat pada Gambar 3.1. Hasil pembuatan elektroda pembanding menggunakan membran yang berasal dari kacang hijau ditampilkan pada Gambar 4.8. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan elektroda banding dengan menggunakan membran yang berasal dari grafit pensil, keramik ubin, dan karet ban. Hasil pembuatan elektroda pembanding menggunakan membran yang berasal dari grafit pensil ditampilkan pada Gambar 4.9. Hasil pembuatan elektroda banding

menggunakan membran yang berasal dari keramik ubin ditampilkan pada Gambar 4.10. Hasil pembuatan elektroda banding menggunakan membran yang berasal dari karet ban motor ditampilkan pada Gambar 4.11. Selanjutnya untuk pembuatan elektroda dengan menggunakan LDPE berbeda dengan pembuatan membran-membran sebelumnya. LDPE dililitkan pada pipa polietilen hingga rapat, membran dibuat sebanyak tiga buah. Hasil pembuatan elektroda pembanding menggunakan membran yang berasal dari LDPE ditampilkan pada Gambar 4.12.

Elektroda yang telah jadi disimpan dalam botol vial dengan ujung membran elektroda tercelup larutan KCl 3 M. Elektroda yang jadi berjumlah 15 buah dengan masing-masing jenis membran berjumlah 3 buah.



Gambar 4.7 Elektroda komersil



Gambar 4.8 Elektroda modifikasi membran selulosa



Gambar 4.9 Elektroda modifikasi membran grafit



Gambar 4.10 Elektroda modifikasi membran kaolin



Gambar 4.11 Elektroda modifikasi membran poliisoprena



Gambar 4.12 Elektroda modifikasi membran LDPE

4.3 Pengujian Elektroda Pembanding

Pengukuran elektrokimia dilakukan dengan menggunakan teknik voltametri siklik, dengan sistem tiga elektroda. Emas sebagai elektroda kerja, Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding, dan platina sebagai elektroda bantu. Larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ 0,1 M dalam KCl 0,1 M dimasukkan ke dalam sampel holder. Potensiostat dioperasikan dengan parameter voltametri siklik (CV), pada potensial -500 mV sampai 800 mV dengan kecepatan penyapuan 100 mV/detik. 5 kali pengulangan untuk pengujian setiap jenis membran. Dilakukan variasi waktu, yaitu pengukuran hari pertama setiap 2 jam sekali selama 24 jam. Pengukuran selanjutnya 24 jam sekali selama 7 hari. Selanjutnya 3 hari sekali dengan 2 kali pengukuran. Voltamogram hasil dari pengukuran elektroda pembanding Ag/AgCl buatan sendiri dan elektroda komersil dibandingkan dengan menggunakan uji signifikansi (uji F dan uji t).

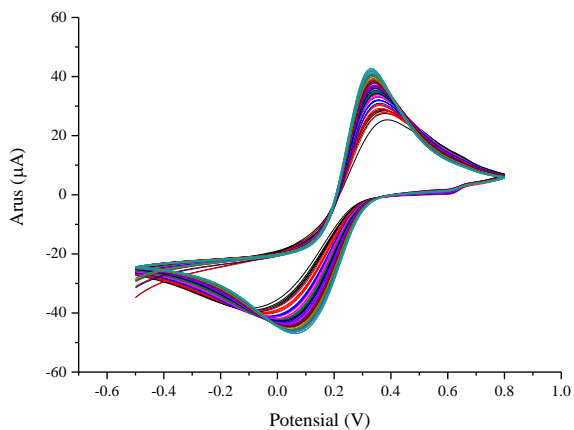
Uji F digunakan untuk membandingkan tingkat kepresisian dari kedua elektroda. Uji F yang dilakukan diasumsikan bahwa populasi sampel memiliki distribusi normal. Hipotesis awal (H_0)

diasumsikan bahwa varian hasil pengukuran potensial oksidasi menggunakan kedua elektroda tersebut adalah sama. Apabila nilai F melebihi nilai kritis tertentu (tabel statistik uji F), maka H_0 ditolak. Pengujian ini dilakukan pada probabilitas 5% ($P=0,05$) untuk uji satu sisi. Pengukuran sendiri dilakukan dalam variasi waktu, tiap 2 jam selama 24 jam, tiap 24 jam selama 6 hari, tiap 3 hari sebanyak 2 kali.

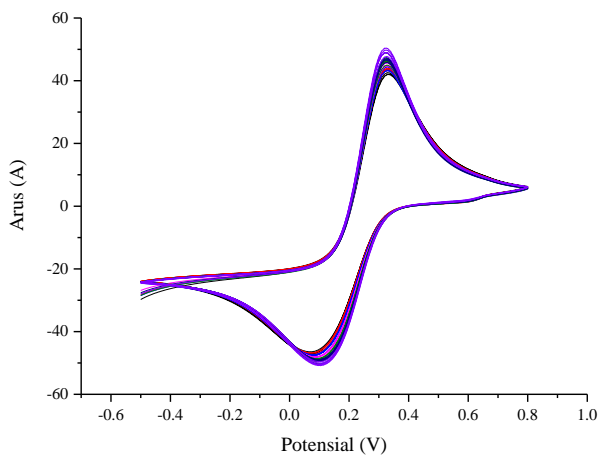
Uji t digunakan untuk menunjukkan apakah nilai E dari kedua elektroda berbeda secara signifikan. Hipotesis awal H_0 diasumsikan bahwa hasil pengukuran kedua elektroda adalah sama. Apabila nilai $|t|$ hitung melebihi nilai kritis tertentu (Tabel statistik t -test), maka H_0 ditolak. Pengujian ini dilakukan pada tingkat probabilitas 5% ($P=0,05$).

4.3.1 Elektroda Pembanding Komersil

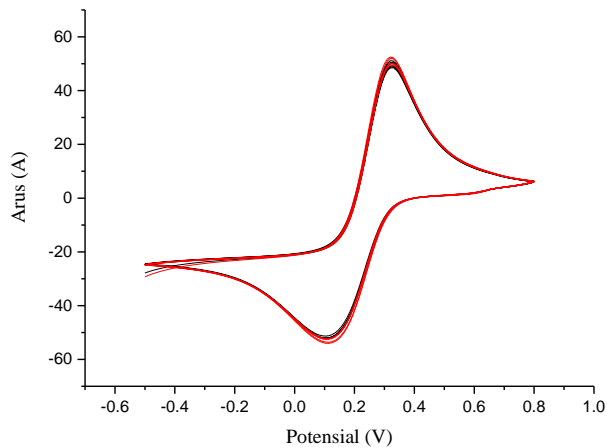
Hasil pengukuran elektrokimia untuk elektroda pembanding komersil dengan menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu 2 – 24 jam ditunjukkan pada Gambar 4.13. Sedangkan hasil pengukuran pada variasi waktu 48 – 168 jam dan 240 – 312 jam masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan 4.15. Pada voltammogram menunjukkan terdapat kenaikan arus puncak oksidasi dan reduksi dengan waktu pengukuran 2 – 24 jam. Namun tidak terdapat kenaikan arus puncak oksidasi dan reduksi untuk waktu pengukuran 48 -168 jam dan 240 – 312 jam. Nilai potensial oksidasi dan reduksi untuk larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan menggunakan elektroda pembanding komersil tidak mengalami perubahan yang signifikan untuk setiap waktu pengukuran. Puncak oksidasi dan reduksi masing – masing terbentuk pada potensial sekitar +0,335 V dan +0,069 V.



Gambar 4.13 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda komersil 2- 24 jam



Gambar 4.14 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda komersil 48 – 168 jam



Gambar 4.15 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda komersil 240 – 316 jam

Nilai potensial oksidasi dari larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ pada masing-masing pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.1. Pengambilan nilai puncak oksidasi berdasarkan pada saat penyapuan yang stabil. Pada setiap pengukuran dengan 5 kali penyapuan hanya di ambil satu nilai potensial oksidasi. Hal ini berlaku untuk semua variasi jenis membran. Nilai potensial oksidasi dari elektroda komersil yang didapatkan kemudian digunakan untuk uji F dan uji t dengan elektroda modifikasi yang telah dibuat.

Tabel 4.1 Potensial Oksidasi Larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan Elektroda Komersil

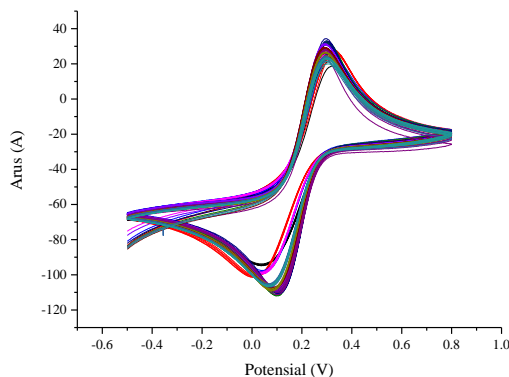
waktu (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
4	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34
6	0.34	0.33	0.33	0.34	0.33
8	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
10	0.33	0.34	0.34	0.34	0.34
12	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
14	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
16	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
18	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
20	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
22	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
24	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
48	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
72	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
96	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
120	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
144	0.33	0.32	0.32	0.33	0.32
168	0.32	0.33	0.32	0.32	0.33
240	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
312	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32

4.3.2 Elektroda Pembanding Membran Poliisoprena

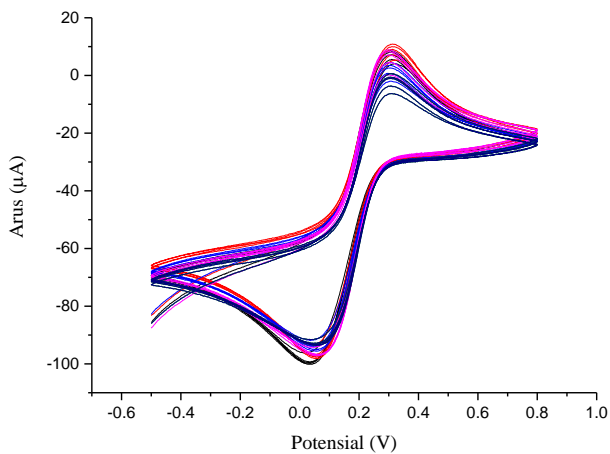
Pengukuran elektrokimia untuk sampel poliisoprena yang berasal dari karet ban dengan menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu pengukuran tiap 2 jam sekali selama 24 jam, tiap 24 jam selama 6 hari, tiap 3 hari sebanyak 2 kali.

4.3.2.1 Membran Poliisoprena a

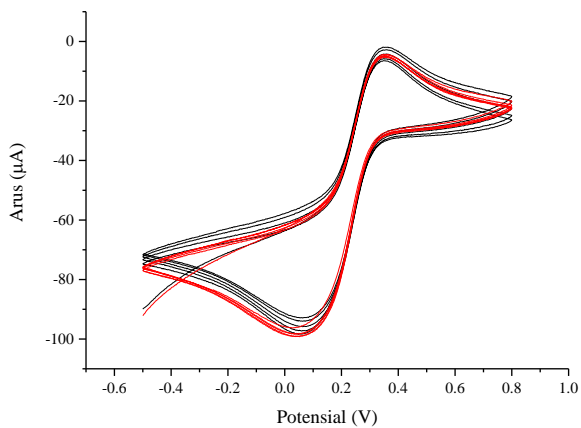
Gambar 4.16 merupakan voltamogram hasil pengukuran elektrokimia untuk elektroda pembanding bermembran poliisoprena a pada variasi waktu 2 – 24 jam. Voltamogram untuk pengujian pada variasi waktu 48 – 168 jam dan 240 – 312 jam ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan 4.18. Berdasarkan voltamogram tersebut, terlihat adanya sinyal puncak oksidasi dan reduksi yang jelas untuk pengujian larutan $K_4[Fe(CN)_6]$. Pada voltammogram menunjukkan adanya perbedaan di setiap pengukuran. Pada pengukuran variasi waktu jam 240 – 312 mempunyai nilai puncak oksidasi tertinggi dibandingkan dengan variasi pengukuran 2 – 24 jam dan 48 – 168 jam. Pada pengukuran untuk variasi waktu 48 – 168 jam mengalami kenaikan arus puncak oksidasi dan reduksi yang signifikan. Nilai potensial oksidasi dan reduksi untuk larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan menggunakan elektroda pembanding membran poliisoprena a tidak mengalami perubahan yang signifikan untuk setiap waktu pengukuran. Puncak oksidasi dan reduksi masing – masing terbentuk pada potensial sekitar +0,307 V dan +0,088 V.



Gambar 4.16 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena a 2 – 24 jam



Gambar 4.17 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena a 48 – 168 jam



Gambar 4.18 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena a 240 – 312 jam

Tabel 4.2 Potensial Oksidasi Larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan Elektroda bermembran poliisoprena a

waktu (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0.32	0.31	0.31	0.31	0.3
4	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32
6	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
10	0.29	0.29	0.3	0.3	0.3
12	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
14	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
16	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
18	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
20	0.3	0.29	0.29	0.29	0.29
22	0.3	0.29	0.29	0.29	0.29
24	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
48	0.32	0.31	0.3	0.3	0.3
72	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31
96	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
120	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
144	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
168	0.31	0.31	0.3	0.31	0.31
240	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
312	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

Nilai potensial oksidasi dari larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ pada masing-masing pengukuran untuk elektroda modifikasi dengan membran poliisoprena a ditunjukkan pada Tabel 4.2. Pengambilan nilai puncak oksidasi berdasarkan pada saat penyapuan yang stabil.

Pada setiap pengukuran dengan 5 kali penyapuan hanya di ambil satu nilai potensial oksidasi. Nilai potensial oksidasi yang didapatkan kemudian digunakan untuk uji F dan uji t dengan nilai potensial oksidasi elektroda komersil (Tabel 4.1). Tabel 4.3 merupakan perbandingan nilai potensial oksidasi antara elektroda komersil dengan elektroda pembanding membran poliisoprena a untuk masing – masing siklus.

Tabel 4.3 Perbandingan siklus 1 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a

Waktu (jam)	potensial siklus 1 (volt)	
	komersil	poliisoprena
2	0.32	0.34
4	0.33	0.33
6	0.31	0.34
8	0.3	0.34
10	0.29	0.33
12	0.3	0.34
14	0.29	0.34
16	0.29	0.34
18	0.29	0.34
20	0.3	0.33
22	0.3	0.33
24	0.3	0.33
48	0.32	0.33
72	0.32	0.33
96	0.3	0.33
120	0.3	0.33
144	0.3	0.33
168	0.31	0.32
240	0.35	0.32
312	0.35	0.32

Tabel 4.4 Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.3085
Variance	4.84E-05	0.000329211
Observations	20	20
Df	19	19
F	0.147082	
P(F<=f) one-tail	5.6E-05	
F Critical one-tail	0.461201	

Berdasarkan Tabel 4.4, nilai F hitung untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a lebih kecil dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi. Sehingga, H_0 diterima pada probabilitas 5%.

Tabel 4.5 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.3085
Variance	4.84211E-05	0.000329211
Observations	20	20
Pearson Correlation	0.600281448	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	4.568447339	
P(T<=t) one-tail	0.00010497	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	0.00020994	

Lanjutan Tabel 4.5

t Critical two-tail	2.093024054
---------------------	-------------

Nilai hasil uji t-berpasangan untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a menunjukkan bahwa nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi (Tabel 4.5). Oleh karena itu, H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.6 Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.3055
Variance	4.84211E-05	0.000310263
Observations	20	20
Df	19	19
F	0.156064461	
P(F<=f) one-tail	8.61243E-05	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.6) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a, nilai F hitung lebih kecil dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 diterima pada probabilitas 5%.

Tabel 4.7 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.3055
Variance	4.84211E-05	0.000310263
Observations	20	20

Lanjutan Tabel 4.7

Pearson Correlation	0.652691218
Hypothesized Mean Difference	0
df	19
t Stat	5.203665336
P(T<=t) one-tail	2.52736E-05
t Critical one-tail	1.729132812
P(T<=t) two-tail	5.05472E-05
t Critical two-tail	2.093024054

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.7) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.8 Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.305
Variance	5.55263E-05	0.0003
Observations	20	20
df	19	19
F	0.185087719	
P(F<=f) one-tail	0.000285812	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.8) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a, nilai F hitung lebih kecil dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 diterima pada probabilitas 5%.

Tabel 4.9 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.305
Variance	5.55263E-05	0.0003
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.550516209	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	5.312597403	
P(T<=t) one-tail	1.98701E-05	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	3.97402E-05	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.9) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.10 Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.3055
Variance	5.36842E-05	0.000299737
Observations	20	20
Df	19	19
F	0.179104478	
P(F<=f) one-tail	0.000227916	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.10) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a, nilai F hitung lebih kecil dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 diterima pada probabilitas 5%.

Tabel 4.11 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.3055
Variance	5.36842E-05	0.000299737
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.551829217	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	5.536545253	
P(T<=t) one-tail	1.2166E-05	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	2.4332E-05	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.11) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.12 Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.305
Variance	5.13158E-05	0.0003

Lanjutan Tabel 4.12

Observations	20	20
Df	19	19
F	0.171052632	
P(F<=f) one-tail	0.000165378	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.12) untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena a, nilai F hitung lebih kecil dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 diterima pada probabilitas 5%.

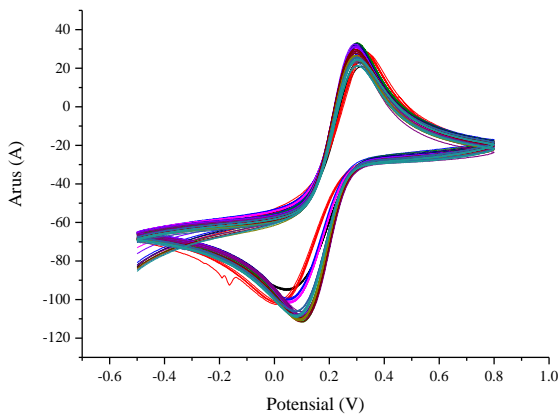
Tabel 4.13 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.305
Variance	5.13158E-05	0.0003
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.572656287	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	5.536545253	
P(T<=t) one-tail	1.2166E-05	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	2.4332E-05	
t Critical two-tail	2.093024054	

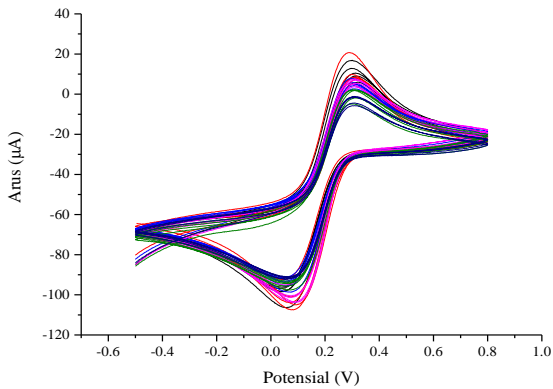
Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.13) untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena , nilai |t| hitung lebih besar dibandingkan nilai |t| kritis satu atau |t| kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

4.4.2.2 Sampel Poliisoprena b

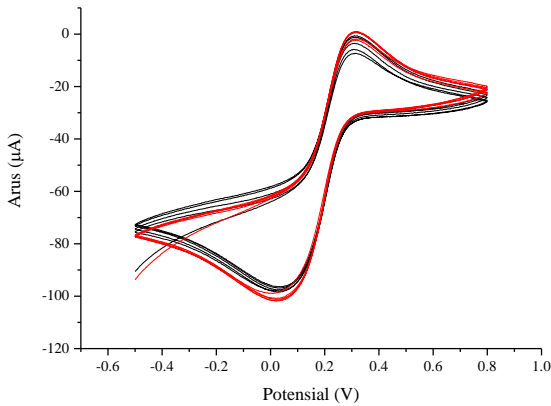
Pengukuran elektrokimia untuk elektroda pembanding bermembran poliisoprena b dengan menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu pengukuran 2 – 24 jam (Gambar 4.19), 48 – 168 jam (Gambar 4.20), 240 – 312 jam (Gambar 4.21). Pada voltamogram perbedaan puncak oksidasi dan reduksi terjadi untuk variasi waktu pengukuran. Pada variasi waktu pengukuran 48 – 168 jam terdapat kenaikan nilai potensial oksidasi dan reduksi. Nilai potensial oksidasi dan reduksi untuk larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan menggunakan elektroda pembanding membran poliisoprena b tidak mengalami perubahan yang signifikan untuk setiap waktu pengukuran. Puncak oksidasi dan reduksi masing – masing terbentuk pada potensial sekitar +0,302 V dan +0,093 V.



Gambar 4.19 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena b 2 – 24 jam



Gambar 4.20 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena b 48 – 168 jam



Gambar 4.21 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena b 240 – 312 jam

Berdasarkan grafik voltamogram yang diperoleh, poliisoprena b dapat memberikan sinyal yang bagus dalam penentuan puncak

oksidasi dan puncak reduksi dari larutan $K_4[Fe(CN)_6]$, terbukti dengan adanya puncak oksidasi dan puncak reduksi yang muncul.

Tabel 4.14 Potensial Oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena b

waktu (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
4	0.32	0.32	0.33	0.33	0.33
6	0.3	0.3	0.31	0.31	0.31
8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
10	0.3	0.3	0.3	0.29	0.3
12	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
14	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
16	0.29	0.3	0.3	0.3	0.3
18	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
20	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
22	0.29	0.3	0.3	0.3	0.3
24	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
48	0.31	0.31	0.31	0.3	0.3
72	0.32	0.3	0.31	0.3	0.29
96	0.3	0.3	0.3	0.3	0.31
120	0.3	0.28	0.31	0.31	0.31
144	0.29	0.31	0.31	0.31	0.3
168	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
240	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
312	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31

Nilai potensial oksidasi dari larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ pada masing-masing pengukuran untuk elektroda modifikasi dengan membran

poliisoprena b ditunjukkan pada Tabel 4.14. Pengambilan nilai puncak oksidasi berdasarkan pada saat penyapuan yang stabil. Pada setiap pengukuran dengan 5 kali penyapuan hanya di ambil satu nilai potensial oksidasi. Nilai potensial oksidasi yang didapatkan kemudian digunakan untuk uji F dan uji t dengan nilai potensial oksidasi elektroda komersil (Tabel 4.1). Tabel 4.15 merupakan perbandingan nilai potensial oksidasi antara elektroda komersil dengan elektroda pembanding membran poliisoprena b untuk masing – masing siklus.

Tabel 4.15 Perbandingan siklus 1 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b

Waktu (jam)	potensial siklus 1 (volt)	
	poliisoprena b	komersil
2	0.31	0.34
4	0.32	0.33
6	0.3	0.34
8	0.3	0.34
10	0.3	0.33
12	0.3	0.34
14	0.29	0.34
16	0.29	0.34
18	0.29	0.34
20	0.29	0.33
22	0.29	0.33
24	0.3	0.33
48	0.31	0.33
72	0.32	0.33
96	0.3	0.33
120	0.3	0.33
144	0.29	0.33

Lanjutan Tabel 4.15

168	0.31	0.32
240	0.31	0.32
312	0.31	0.32

Tabel 4.16 Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.3015
Variance	4.84211E-05	9.76316E-05
Observations	20	20
Df	19	19
F	0.495956873	
P(F<=f) one-tail	0.067644444	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.16) untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%

Tabel 4.17 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.3015
Variance	4.84211E-05	9.76316E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.428669078	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	

Lanjutan Tabel 4.17

t Stat	9.526599475
P(T<=t) one-tail	5.71411E-09
t Critical one-tail	1.729132812
P(T<=t) two-tail	1.14282E-08
t Critical two-tail	2.093024054

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.17) untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.18 Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.3015
Variance	4.84211E-05	8.71053E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.555891239	
P(F<=f) one-tail	0.104878555	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.18) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.19 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.3015
Variance	4.84211E-05	8.71053E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.372790571	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	10.05699068	
P(T<=t) one-tail	2.40112E-09	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	4.80225E-09	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.19) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.20 Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.3045
Variance	5.553E-05	8.92105E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.6224189	
P(F<=f) one-tail	0.1550021	
F Critical one-tail	0.4612011	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.20) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.21 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.3045
Variance	5.55263E-05	8.92105E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.474856781	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	8.301231701	
P(T<=t) one-tail	4.81871E-08	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	9.63742E-08	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.21) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.22 Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.303
Variance	5.36842E-05	9.57895E-05
Observations	20	20

Lanjutan Tabel 4.22

Df	19	19
F	0.56043956	
P(F<=f) one-tail	0.108032031	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.22) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.23 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.303
Variance	5.36842E-05	9.57895E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.205504933	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	10.02936864	
P(T<=t) one-tail	2.51004E-09	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	5.02008E-09	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.23) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.24 Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.303
Variance	5.13158E-05	9.57895E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.535714286	
P(F<=f) one-tail	0.091426936	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.24) untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

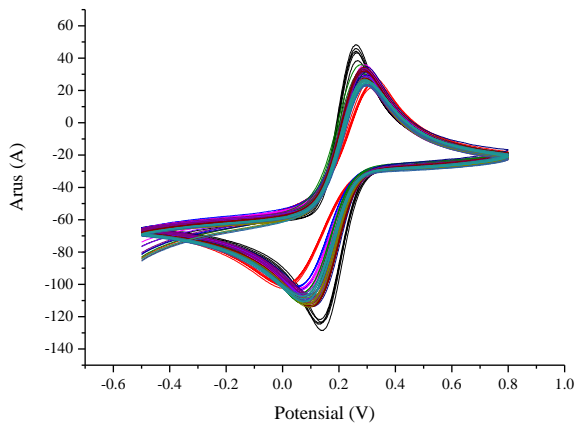
Tabel 4.25 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.303
Variance	5.13158E-05	9.57895E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.112603855	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	10.3367375	
P(T<=t) one-tail	1.53945E-09	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	3.0789E-09	
t Critical two-tail	2.093024054	

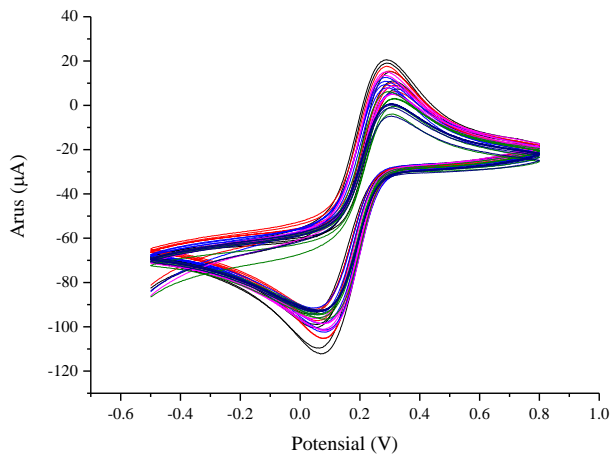
Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena b, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

4.3.2.2 Sampel Poliisoprena c

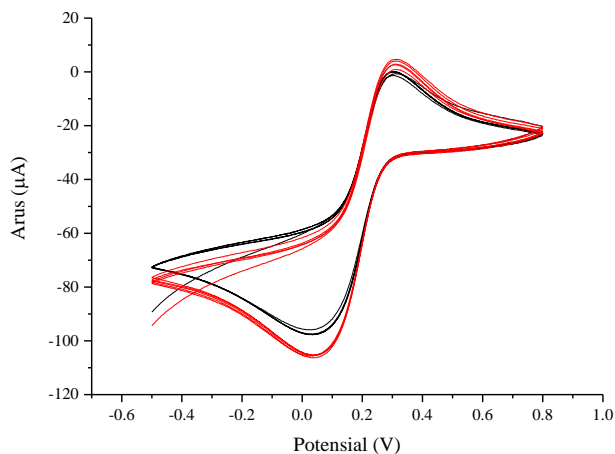
Pengukuran elektrokimia untuk elektroda pembanding bermembran sampel poliisoprena c dengan menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu pengukuran 2 – 24 jam (Gambar 4.22), 48 – 168 jam (Gambar 4.23), 240 – 312 jam (Gambar 4.24). Pada voltamogram menunjukkan terdapat kenaikan arus puncak oksidasi dan reduksi dengan variasi waktu pengukuran yang berbeda. Nilai potensial oksidasi dan reduksi untuk larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan menggunakan elektroda pembanding membran poliisoprena c tidak mengalami perubahan yang signifikan untuk setiap waktu pengukuran. Puncak oksidasi dan reduksi masing – masing terbentuk pada potensial sekitar +0,297 V dan +0,103 V.



Gambar 4.22 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena c 2 – 24 jam



Gambar 4.23 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena c 48 – 144 jam



Gambar 4.24 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena c 240 – 312 jam

Berdasarkan grafik voltamogram yang diperoleh, poliisoprena c dapat memberikan sinyal yang bagus dalam penentuan puncak oksidasi dan puncak reduksi dari larutan $K_4[Fe(CN)_6]$, terbukti dengan adanya puncak oksidasi dan puncak reduksi yang muncul.

Tabel 4.26 Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran poliisoprena c

waktu (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
4	0.32	0.32	0.32	0.33	0.32
6	0.29	0.29	0.28	0.28	0.29
8	0.29	0.29	0.28	0.29	0.29
10	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27
12	0.3	0.3	0.29	0.29	0.29
14	0.3	0.29	0.29	0.29	0.29

Lanjutan Tabel 4.26

16	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28
18	0.29	0.29	0.29	0.28	0.29
20	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
22	0.3	0.3	0.29	0.29	0.29
24	0.3	0.3	0.29	0.3	0.29
48	0.32	0.31	0.3	0.29	0.29
72	0.31	0.31	0.3	0.29	0.29
96	0.31	0.29	0.28	0.28	0.28
120	0.31	0.31	0.31	0.28	0.28
144	0.3	0.31	0.31	0.31	0.29
168	0.3	0.3	0.31	0.3	0.31
240	0.3	0.31	0.3	0.3	0.3
312	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31

Nilai potensial oksidasi dari larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ pada masing-masing pengukuran untuk elektroda modifikasi dengan membran poliisoprena c ditunjukkan pada Tabel 4.26. Pengambilan nilai puncak oksidasi berdasarkan pada saat penyapuan yang stabil. Pada setiap pengukuran dengan 5 kali penyapuan hanya di ambil satu nilai potensial oksidasi. Nilai potensial oksidasi yang didapatkan kemudian digunakan untuk uji F dan uji t dengan nilai potensial oksidasi elektroda komersil (Tabel 4.1). Tabel 4.27 merupakan perbandingan nilai potensial oksidasi antara elektroda komersil dengan elektroda pembanding membran poliisoprena c untuk masing – masing siklik.

Tabel 4.27 Perbandingan siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c

Waktu (jam)	potensial siklik 1 (volt)	
	poliisoprena c	komersil
2	0.26	0.34
4	0.32	0.33
6	0.29	0.34
8	0.29	0.34
10	0.28	0.33
12	0.3	0.34
14	0.3	0.34
16	0.29	0.34
18	0.29	0.34
20	0.29	0.33
22	0.3	0.33
24	0.3	0.33
48	0.32	0.33
72	0.31	0.33
96	0.31	0.33
120	0.31	0.33
144	0.3	0.33
168	0.3	0.32
240	0.3	0.32
312	0.31	0.32

Tabel 4.28 Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.2985
Variance	4.84211E-05	0.000192368
Observations	20	20
Df	19	19
F	0.251709986	
P(F<=f) one-tail	0.002103915	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.28) untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c, nilai F hitung lebih kecil dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 diterima pada probabilitas 5%.

Tabel 4.29 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.2985
Variance	4.84211E-05	0.000192368
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.45808037	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	8.257012619	
P(T<=t) one-tail	5.22256E-08	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	1.04451E-07	

Lanjutan Tabel 4.29

t Critical two-tail	2.093024054
---------------------	-------------

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.29) untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.30 Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.2975
Variance	4.84211E-05	0.000188158
Observations	20	20
df	19	19
F	0.257342657	
P(F<=f) one-tail	0.002407	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.30) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena C, nilai F hitung lebih kecil dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 diterima pada probabilitas 5%.

Tabel 4.31 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.2975
Variance	4.84211E-05	0.000188158
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.661681983	

Lanjutan Tabel 4.31

Hypothesized Mean Difference	0
Df	19
t Stat	8.099230485
P(T<=t) one-tail	6.97434E-08
t Critical one-tail	1.729132812
P(T<=t) two-tail	1.39487E-07
t Critical two-tail	2.093024054

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.31) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.32 Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.2935
Variance	5.55263E-05	0.000202895
Observations	20	20
df	19	19
F	0.273670558	
P(F<=f) one-tail	0.003474899	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.32) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena C, nilai F hitung lebih kecil dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 diterima pada probabilitas 5%.

Tabel 4.33 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.2935
Variance	5.55263E-05	0.000202895
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.647101029	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	19	
t Stat	8.542135863	
P(T<=t) one-tail	3.12203E-08	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	6.24406E-08	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.33) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.34 Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.291
Variance	5.36842E-05	0.000230526
Observations	20	20
df	19	19
F	0.232876712	
P(F<=f) one-tail	0.001297899	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.34) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena C, nilai F hitung lebih kecil dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 diterima pada probabilitas 5%.

Tabel 4.35 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.291
Variance	5.36842E-05	0.000230526
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.359564205	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	19	
t Stat	9.842106077	
P(T<=t) one-tail	3.39843E-09	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	6.79686E-09	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.35) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c, nilai |t| hitung lebih besar dibandingkan nilai |t| kritis satu atau |t| kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.36 Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.29
Variance	5.13158E-05	0.000178947
Observations	20	20

Lanjutan Tabel 4.36

df	19	19
F	0.286764706	
P(F<=f) one-tail	0.004561214	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.36) untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena C, nilai F hitung lebih kecil dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 diterima pada probabilitas 5%.

Tabel 4.37 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran poliisoprena c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.29
Variance	5.13158E-05	0.000178947
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.329541022	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	19	
t Stat	11.09579163	
P(T<=t) one-tail	4.80705E-10	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	9.6141E-10	
t Critical two-tail	2.093024054	

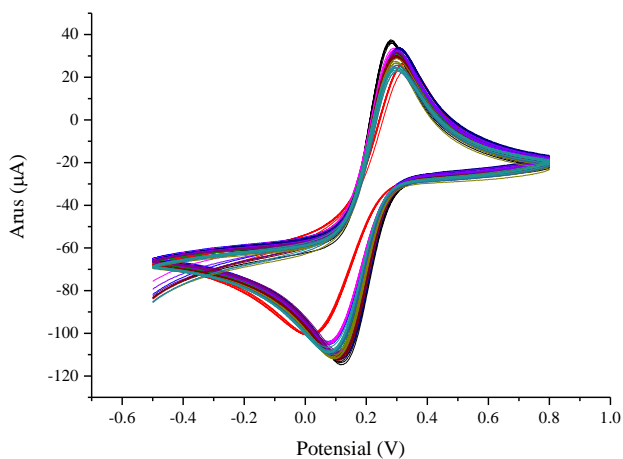
Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.37) untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda poliisoprena c, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

4.3.3 Elektroda Pembanding Membran LDPE

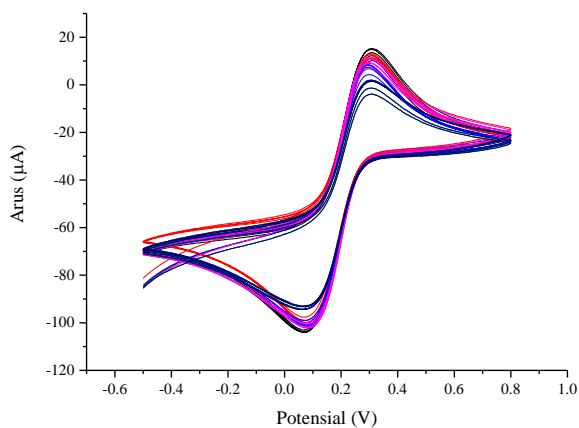
Pengukuran elektrokimia untuk elektroda pembanding bermembran LDPE dengan menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu pengukuran tiap 2 jam sekali selama 24 jam, tiap 24 jam selama 6 hari, tiap 3 hari sebanyak 2 kali.

4.3.3.1 Sampel LDPE a

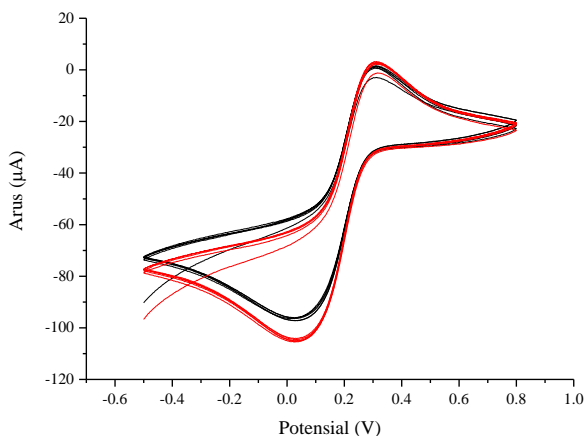
Pengukuran elektrokimia untuk elektroda pembanding bermembran LDPE dengan menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu pengukuran 2 – 24 jam (Gambar 4.25), 48 – 168 jam (Gambar 4.26), 240 – 312 jam (Gambar 4.27). Pada voltamogram menunjukkan terdapat kenaikan arus oksidasi dan reduksi dengan variasi waktu pengukuran yang berbeda. Nilai potensial oksidasi dan reduksi untuk larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan menggunakan elektroda pembanding membran LDPE a tidak mengalami perubahan yang signifikan untuk setiap waktu pengukuran. Puncak oksidasi dan reduksi masing – masing terbentuk pada potensial sekitar +0,302 V dan +0,107 V.



Gambar 4.25 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE a 2 – 24 jam



Gambar 4.26 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE a 48 – 144 jam



Gambar 4.27 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE a 240 – 312 jam

Berdasarkan hasil voltamogram menggunakan sampel membran LDPE menunjukkan sinyal yang jelas untuk pengujian larutan $K_4[Fe(CN)_6]$. Hal itu ditunjukkan dengan adanya sinyal puncak oksidasi dan puncak reduksi.

Tabel 4.38 Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE a

waktu (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
4	0.32	0.32	0.32	0.33	0.32
6	0.29	0.29	0.28	0.28	0.29
8	0.29	0.29	0.28	0.29	0.29
10	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27
12	0.3	0.3	0.29	0.29	0.29

Lanjutan Tabel 4.38

14	0.3	0.29	0.29	0.29	0.29
16	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28
18	0.29	0.29	0.29	0.28	0.29
20	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
22	0.3	0.3	0.29	0.29	0.29
24	0.3	0.3	0.29	0.3	0.29
48	0.32	0.31	0.3	0.29	0.29
72	0.31	0.31	0.3	0.29	0.29
96	0.31	0.29	0.28	0.28	0.28
120	0.31	0.31	0.31	0.28	0.28
144	0.3	0.31	0.31	0.31	0.29
168	0.3	0.3	0.31	0.3	0.31
240	0.3	0.31	0.3	0.3	0.3
312	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31

Nilai potensial oksidasi dari larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ pada masing-masing pengukuran untuk elektroda modifikasi dengan membran LDOE a ditunjukkan pada Tabel 4.39. Pengambilan nilai puncak oksidasi berdasarkan pada saat penyapuan yang stabil. Pada setiap pengukuran dengan 5 kali penyapuan hanya di ambil satu nilai potensial oksidasi. Nilai potensial oksidasi yang didapatkan kemudian digunakan untuk uji F dan uji t dengan nilai potensial oksidasi elektroda komersil (Tabel 4.1). Tabel 4.39 merupakan perbandingan nilai potensial oksidasi antara elektroda komersil dengan elektroda pembanding membran LDPE a untuk masing – masing siklus.

Tabel 4.39 Perbandingan siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda bermembran LDPE a

Waktu (jam)	potensial siklik 1 (volt)	
	LDPE a	komersil
2	0.28	0.34
4	0.33	0.33
6	0.3	0.34
8	0.29	0.34
10	0.3	0.33
12	0.3	0.34
14	0.3	0.34
16	0.3	0.34
18	0.3	0.34
20	0.29	0.33
22	0.3	0.33
24	0.3	0.33
48	0.31	0.33
72	0.3	0.33
96	0.3	0.33
120	0.3	0.33
144	0.3	0.33
168	0.3	0.32
240	0.31	0.32
312	0.31	0.32

Tabel 4.40 Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.301
Variance	4.84211E-05	9.36842E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.516853933	
P(F<=f) one-tail	0.07968045	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.40) untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE a, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.41 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.301
Variance	4.84211E-05	9.36842E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.421978035	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	19	
t Stat	9.828960556	
P(T<=t) one-tail	3.47201E-09	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	6.94403E-09	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.41) untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE a, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.42 Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.3
Variance	4.84211E-05	9.4737E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.511111111	
P(F<=f) one-tail	0.07626852	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.42) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE a, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.43 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.3
Variance	4.84211E-05	9.47368E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.38854367	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	19	
t Stat	10.22751928	

Lanjutan Tabel 4.43

P($T \leq t$) one-tail	1.82932E-09
t Critical one-tail	1.729132812
P($T \leq t$) two-tail	3.65864E-09
t Critical two-tail	2.093024054

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.43) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE a, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.44 Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.3
Variance	5.5526E-05	9.4737E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.58611111	
P($F \leq f$) one-tail	0.12662027	
F Critical one-tail	0.46120109	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.44) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE a, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.45 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.3
Variance	5.55263E-05	9.47368E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.36283362	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	9.889860389	
P(T<=t) one-tail	3.14453E-09	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	6.28905E-09	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.45) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE a, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.46 Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.3
Variance	5.36842E-05	0.000105263
Observations	20	20
Df	19	19
F	0.51	
P(F<=f) one-tail	0.07561743	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.46) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE a, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.47 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.3
Variance	5.36842E-05	0.000105263
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.140028008	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	11	
P(T<=t) one-tail	5.54934E-10	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	1.10987E-09	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.47) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE a, nilai |t| hitung lebih besar dibandingkan nilai |t| kritis satu atau |t| kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.48 Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.301
Variance	5.13158E-05	9.36842E-05
Observations	20	20

Lanjutan Tabel 4.48

Df	19	19
F	0.547752809	
P(F<=f) one-tail	0.09934583	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE a, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

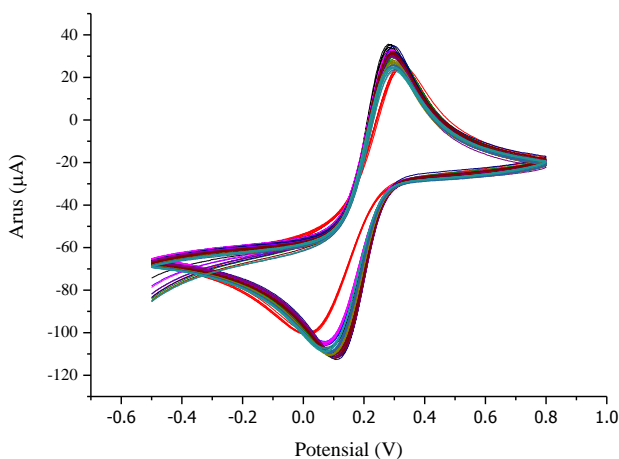
Tabel 4.49 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE a

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.301
Variance	5.13158E-05	9.36842E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.189770062	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	19	
t Stat	10.76283929	
P(T<=t) one-tail	7.95038E-10	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	1.59008E-09	
t Critical two-tail	2.093024054	

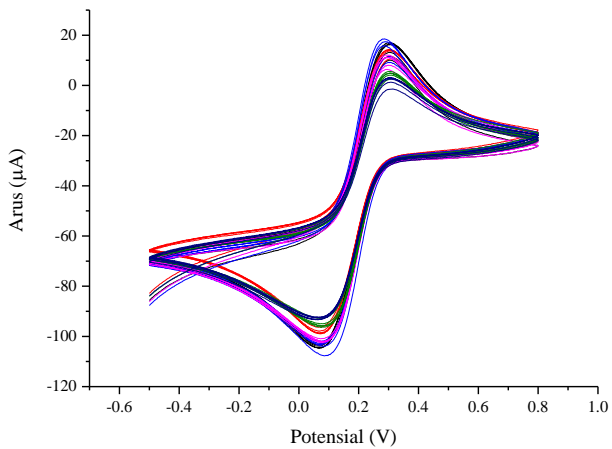
Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE a, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

4.3.3.2 Sampel LDPE b

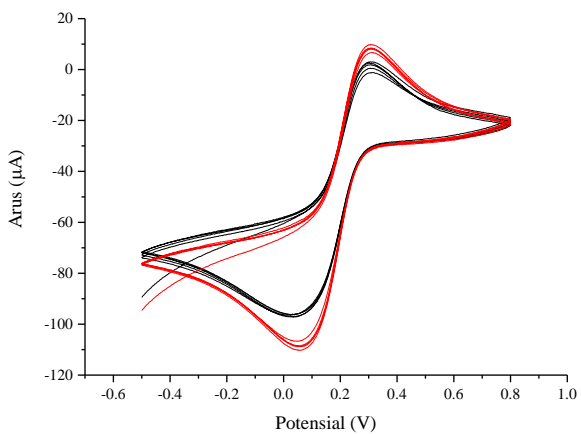
Pengukuran elektrokimia untuk elektroda pembanding bermembran LDPE b dengan menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu pengukuran 2 – 24 jam (Gambar 4.28), 48 – 168 jam (Gambar 4.29), 240 – 312 jam (Gambar 4.31). Pada voltamogram menunjukkan terdapat kenaikan arus puncak oksidasi dan reduksi dengan variasi waktu pengukuran yang berbeda. Nilai potensial oksidasi dan reduksi untuk larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan menggunakan elektroda pembanding membran LDPE b tidak mengalami perubahan yang signifikan untuk setiap waktu pengukuran. Puncak oksidasi dan reduksi masing – masing terbentuk pada potensial sekitar +0,297 V dan +0,097 V.



Gambar 4.28 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda pembanding bermembran LDPE b 2 – 24 jam



Gambar 4.29 Voltamogram larutan K₄[Fe(CN)₆] dengan elektroda pembanding bermembran LDPE b 48 – 144 jam



Gambar 4.30 Voltamogram larutan K₄[Fe(CN)₆] dengan elektroda pembanding bermembran LDPE b 240 – 312 jam

Berdasarkan hasil voltamogram menggunakan sampel membran LDPE menunjukkan sinyal yang jelas untuk pengujian larutan $K_4[Fe(CN)_6]$. Hal itu ditunjukkan dengan adanya sinyal puncak oksidasi dan puncak reduksi.

Tabel 4.50 Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda pembanding bermembran LDPE b

waktu (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28
4	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
6	0.3	0.29	0.29	0.29	0.29
8	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
10	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
12	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
14	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
16	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
18	0.29	0.3	0.3	0.3	0.3
20	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
22	0.3	0.3	0.29	0.29	0.3
24	0.3	0.3	0.29	0.29	0.29
48	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
72	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
96	0.3	0.3	0.28	0.28	0.28
120	0.29	0.3	0.29	0.29	0.29
144	0.31	0.3	0.3	0.3	0.3
168	0.31	0.3	0.3	0.3	0.3
240	0.31	0.3	0.3	0.3	0.3
312	0.31	0.3	0.31	0.31	0.31

Nilai potensial oksidasi dari larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ pada masing-masing pengukuran untuk elektroda modifikasi dengan membran LDPE b ditunjukkan pada Tabel 4.51. Pengambilan nilai puncak oksidasi berdasarkan pada saat penyapuan yang stabil. Pada setiap pengukuran dengan 5 kali penyapuan hanya di ambil satu nilai potensial oksidasi. Nilai potensial oksidasi yang didapatkan kemudian digunakan untuk uji F dan uji t dengan nilai potensial oksidasi elektroda komersil (Tabel 4.1). Tabel 4.51 merupakan perbandingan nilai potensial oksidasi antara elektroda komersil dengan elektroda pembanding membran LDPE b untuk masing – masing siklik.

Tabel 4.51 Perbandingan siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda LDPE b

Waktu (jam)	potensial siklik 1 (volt)	
	LDPE b	komersil
2	0.29	0.34
4	0.32	0.33
6	0.3	0.34
8	0.29	0.34
10	0.3	0.33
12	0.3	0.34
14	0.29	0.34
16	0.29	0.34
18	0.29	0.34
20	0.29	0.33
22	0.3	0.33
24	0.3	0.33
48	0.3	0.33
72	0.3	0.33
96	0.3	0.33

Lanjutan Tabel 4.51

120	0.29	0.33
144	0.31	0.33
168	0.31	0.32
240	0.31	0.32
312	0.31	0.32

Tabel 4.52 Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.2995
Variance	4.8421E-05	7.86842E-05
Observations	20	20
Df	19	19
F	0.61538462	
P(F<=f) one-tail	0.14932772	
F Critical one-tail	0.46120109	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.52) untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE b, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.53 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.2995
Variance	4.8421E-05	7.86842E-05
Observations	20	20
Hypothesized Mean Difference	0	

Lanjutan Tabel 4.53

Df	36
t Stat	12.89189
P(T<=t) one-tail	2.3401E-15
t Critical one-tail	1.68829771
P(T<=t) two-tail	4.6801E-15
t Critical two-tail	2.028094

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.53) untuk siklus 1 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE b, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.54 Hasil uji F siklus 2 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.2975
Variance	4.84211E-05	6.18421E-05
Observations	20	20
Df	19	19
F	0.782978723	
P(F<=f) one-tail	0.299586573	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.54) untuk siklus 2 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE b, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.55 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.2975
Variance	4.84211E-05	6.18421E-05
Observations	20	20
Hypothesized Mean Difference	0	
df	37	
t Stat	14.69328423	
P(T<=t) one-tail	2.53366E-17	
t Critical one-tail	1.68709362	
P(T<=t) two-tail	5.06733E-17	
t Critical two-tail	2.026192463	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.55) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE b, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.56 Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.2955
Variance	5.55263E-05	8.92105E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.622418879	
P(F<=f) one-tail	0.155002111	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.56) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE b, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.57 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.2955
Variance	5.55263E-05	8.92105E-05
Observations	20	20
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	36	
t Stat	13.38221343	
P(T<=t) one-tail	7.65177E-16	
t Critical one-tail	1.688297714	
P(T<=t) two-tail	1.53035E-15	
t Critical two-tail	2.028094001	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.57) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE b, nilai |t| hitung lebih besar dibandingkan nilai |t| kritis satu atau |t| kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.58 Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.2955
Variance	5.36842E-05	8.92105E-05
Observations	20	20
Df	19	19

Lanjutan Tabel 4.58

F	0.601769912
P(F<=f) one-tail	0.138578588
F Critical one-tail	0.461201089

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.58) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE b, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.59 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.2955
Variance	5.36842E-05	8.92105E-05
Observations	20	20
Hypothesized Mean Difference	0	
df	36	
t Stat	14.02936935	
P(T<=t) one-tail	1.82441E-16	
t Critical one-tail	1.688297714	
P(T<=t) two-tail	3.64883E-16	
t Critical two-tail	2.028094001	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.59) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE b, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.60 Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.296
Variance	5.13158E-05	8.84211E-05
Observations	20	20
Df	19	19
F	0.580357143	
P(F<=f) one-tail	0.122340865	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.60) untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE b, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

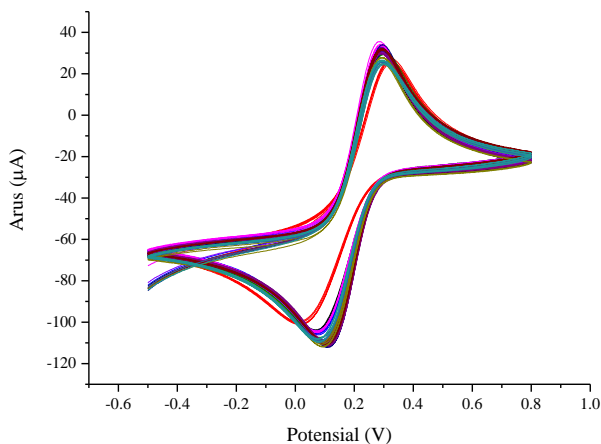
Tabel 4.61 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE b

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.296
Variance	5.13158E-05	8.84211E-05
Observations	20	20
Hypothesized Mean Difference	0	
df	35	
t Stat	13.80868746	
P(T<=t) one-tail	4.95799E-16	
t Critical one-tail	1.689572458	
P(T<=t) two-tail	9.91598E-16	
t Critical two-tail	2.030107928	

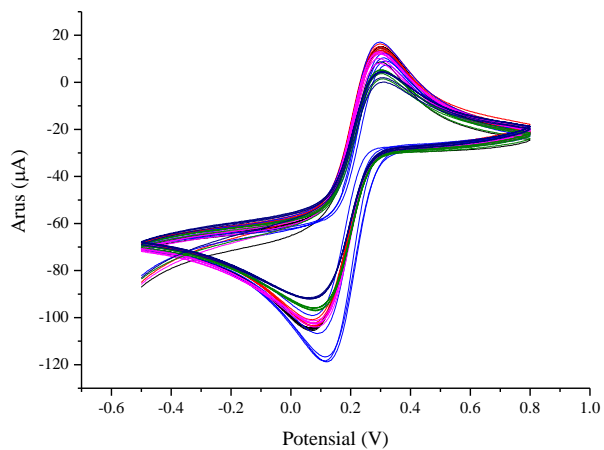
Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.61) untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

4.3.3.3 Sampel LDPE c

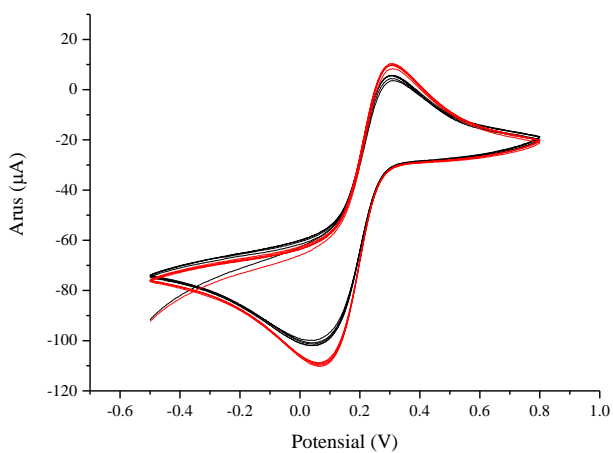
Pengukuran elektrokimia untuk elektroda pembanding bermembran LDPE c dengan menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu pengukuran 2 – 24 jam (Gambar 4.31), 48 – 168 jam (Gambar 4.32), 240 – 312 jam (Gambar 4.33). Pada voltamogram menunjukkan terdapat kenaikan arus puncak oksidasi dan reduksi dengan variasi waktu pengukuran yang berbeda. Nilai potensial oksidasi dan reduksi untuk larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan menggunakan elektroda pembanding membran LDPE c tidak mengalami perubahan yang signifikan untuk setiap waktu pengukuran. Puncak oksidasi dan reduksi masing – masing terbentuk pada potensial sekitar +0,297 V dan +0,097 V.



Gambar 4.31 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE c 2 – 24 jam



Gambar 4.32 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE c 48 – 168 jam



Gambar 4.33 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran LDPE c 240 – 312 jam

Berdasarkan hasil voltamogram menggunakan sampel membran LDPE menunjukkan sinyal yang jelas untuk pengujian larutan $K_4[Fe(CN)_6]$. Hal itu ditunjukkan dengan adanya sinyal puncak oksidasi dan puncak reduksi.

Tabel 4.62 Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda pembanding bermembran LDPE c

waktu (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0.29	0.28	0.29	0.29	0.29
4	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
6	0.3	0.29	0.29	0.29	0.29
8	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28
10	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
12	0.29	0.29	0.3	0.3	0.29
14	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
16	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
18	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
20	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
22	0.3	0.29	0.29	0.3	0.3
24	0.3	0.3	0.29	0.29	0.29
48	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
72	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
96	0.32	0.31	0.3	0.31	0.3
120	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
144	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
168	0.31	0.3	0.3	0.3	0.3
240	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31

312	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Nilai potensial oksidasi dari larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ pada masing-masing pengukuran untuk elektroda modifikasi dengan membran LDPE c ditunjukkan pada Tabel 4.63. Pengambilan nilai puncak oksidasi berdasarkan pada saat penyapuan yang stabil. Pada setiap pengukuran dengan 5 kali penyapuan hanya di ambil satu nilai potensial oksidasi. Nilai potensial oksidasi yang didapatkan kemudian digunakan untuk uji F dan uji t dengan nilai potensial oksidasi elektroda komersil (Tabel 4.1). Tabel 4.63 merupakan perbandingan nilai potensial oksidasi antara elektroda komersil dengan elektroda pembanding membran LDPE c untuk masing – masing siklik.

Tabel 4.63 Perbandingan siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda LDPE c

Waktu (jam)	potensial siklik 1 (volt)	
	LDPE a	komersil
2	0.29	0.34
4	0.32	0.33
6	0.3	0.34
8	0.29	0.34
10	0.3	0.33
12	0.29	0.34
14	0.29	0.34
16	0.29	0.34
18	0.29	0.34
20	0.29	0.33
22	0.3	0.33
24	0.3	0.33
48	0.3	0.33

72	0.3	0.33
96	0.32	0.33

Lanjutan Tabel 4.63

120	0.29	0.33
144	0.3	0.33
168	0.31	0.32
240	0.31	0.32
312	0.3	0.32

Tabel 4.64 Hasil uji F siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.299
Variance	4.84211E-05	9.36842E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.516853933	
P(F<=f) one-tail	0.07968045	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.64) untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.65 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 1 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.299
Variance	4.84211E-05	9.36842E-05

Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.593895012	
<i>Lanjutan Tabel 4.65</i>		
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	9.902606292	
P(T<=t) one-tail	3.08016E-09	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	6.16032E-09	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.65) untuk siklik 1 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.66 Hasil uji F siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.2965
Variance	4.8421E-05	8.7105E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.55589124	
P(F<=f) one-tail	0.10487855	
F Critical one-tail	0.46120109	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.66) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.67 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 2 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.332	0.2965
Variance	4.84211E-05	8.71053E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.53487343	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	19	
t Stat	11.08833709	
P(T<=t) one-tail	4.86091E-10	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	9.72182E-10	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.67) untuk siklik 2 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.68 Hasil uji F siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.2965
Variance	5.553E-05	6.60526E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.8406375	
P(F<=f) one-tail	0.3545121	
F Critical one-tail	0.4612011	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.68) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.69 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 3 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3315	0.2965
Variance	5.5526E-05	6.60526E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.43018683	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	11.8768938	
P(T<=t) one-tail	1.5416E-10	
t Critical one-tail	1.72913281	
P(T<=t) two-tail	3.0832E-10	
t Critical two-tail	2.09302405	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.69) untuk siklik 3 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai |t| hitung lebih besar dibandingkan nilai |t| kritis satu atau |t| kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.70 Hasil uji F siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.2975
Variance	5.36842E-05	7.23684E-05
Observations	20	20

Lanjutan Tabel 4.70

df	19	19
F	0.741818182	
P(F<=f) one-tail	0.260690248	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.70) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

Tabel 4.71 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 4 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.333	0.2975
Variance	5.36842E-05	7.23684E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.295540232	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	19	
t Stat	12.43912479	
P(T<=t) one-tail	7.04319E-11	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	1.40864E-10	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.71) untuk siklik 4 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

Tabel 4.72 Hasil uji F siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.296
Variance	5.13158E-05	7.7895E-05
Observations	20	20
df	19	19
F	0.658783784	
P(F<=f) one-tail	0.185514588	
F Critical one-tail	0.461201089	

Berdasarkan nilai hasil uji F (Tabel 4.72) untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai F hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis satu sisi sehingga H_0 ditolak pada probabilitas 5%.

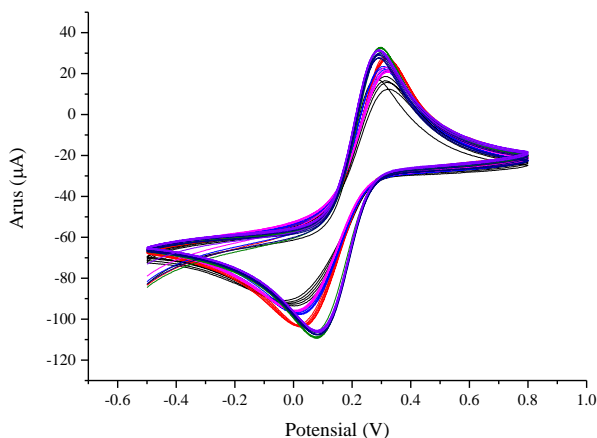
Tabel 4.73 Hasil uji t-berpasangan dua sampel untuk rata-rata siklik 5 elektroda komersil dengan elektroda membran LDPE c

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	0.3325	0.296
Variance	5.13158E-05	7.7895E-05
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.332986653	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	19	
t Stat	12.47122648	
P(T<=t) one-tail	6.74083E-11	
t Critical one-tail	1.729132812	
P(T<=t) two-tail	1.34817E-10	
t Critical two-tail	2.093024054	

Berdasarkan nilai hasil uji t-berpasangan (Tabel 4.73) untuk siklik 5 antara elektroda komersil dengan elektroda LDPE c, nilai $|t|$ hitung lebih besar dibandingkan nilai $|t|$ kritis satu atau $|t|$ kritis dua sisi sehingga H_0 ditolak pada tingkat probabilitas 5%.

4.3.4 Elektroda Pembanding Membran Kaolin

Kaolin diperoleh dari kandungan keramik ubin, karena keramik ubin terbentuk dari tanah liat dengan kandungan terbesar adalah kaolin. Pengukuran elektrokimia untuk elektroda pembanding bermembran Kaolin menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu pengukuran tiap 2 jam sekali selama 24 jam, tiap 24 jam selama 6 hari, tiap 3 hari sebanyak 2 kali diperoleh Gambar 4.34 voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$.



Gambar 4.34 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda pembanding bermembran kaolin

Berdasarkan hasil voltamogram menggunakan sampel membran kaolin menunjukkan sinyal yang jelas untuk pengujian larutan $K_4[Fe(CN)_6]$. Hal itu ditunjukkan dengan adanya sinyal puncak

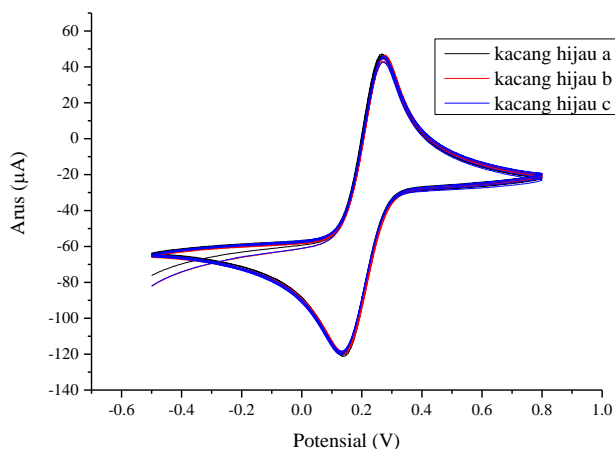
oksidasi dan puncak reduksi. Namun untuk hasil nilai potensial dari membran kaolin tidak dapat dilakukan perbandingan uji F uji t dengan nilai potensial elektroda komersil dikarenakan hanya dapat bertahan sampai pengukuran tiap 2 jam ke-7. Sedangkan untuk pengukuran tiap 2 jam ke-8 tidak memberikan sinyal.

Tabel 4.74 Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda pembanding bermembran kaolin

t (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0.32	0.32	0.31	0.28	0.31
4	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31
6	0.32	0.32	0.31	0.3	0.3
8	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31
10	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
12	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
14	0.29	0.29	0.28	0.29	0.29

4.3.5 Elektroda Pembanding Membran Selulosa

Selulosa diperoleh dari kandungan kacang hijau. Pengukuran elektrokimia dari elektroda pembanding bermembran selulosa menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu pengukuran tiap 2 jam sekali selama 24 jam, tiap 24 jam selama 6 hari, tiap 3 hari sebanyak 2 kali diperoleh Gambar 4.35 voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$.

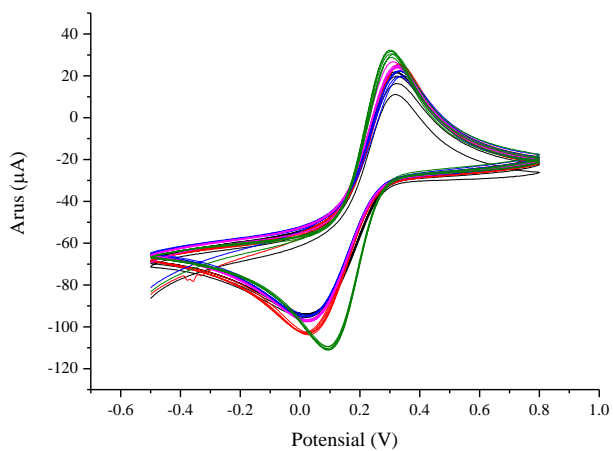


Gambar 4.35 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda pembanding bermembran selulosa

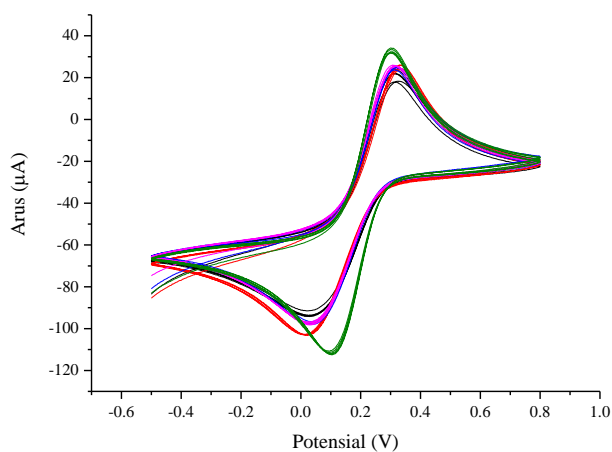
Berdasarkan hasil voltamogram sampel membran selulosa dapat memberikan hasil yang jelas untuk pengujian larutan $K_4[Fe(CN)_6]$. Hal itu ditunjukkan dengan adanya puncak oksidasi dan puncak reduksi. Namun pengujian dengan dengan membran kacang hijau tidak dapat berlangsung lama, hanya cukup untuk sekali pengukuran, yaitu pada pengukuran tiap 2 jam pertama. Sedangkan untuk pengukuran tiap 2 jam ke-2 tidak memberikan sinyal.

4.3.6 Elektroda Pembading Membran Grafit

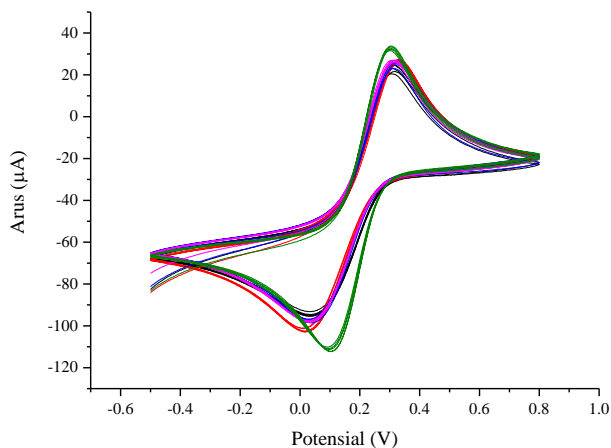
Pengukuran elektrokimia untuk elektroda bermembran grafit dengan menggunakan teknik voltametri siklik pada variasi waktu pengukuran tiap 2 jam sekali selama 24 jam, tiap 24 jam selama 6 hari, tiap 3 hari sebanyak 2 kali diperoleh Gambar voltamogram pensil. Grafit a (Gambar 4.36), grafit b (Gambar 4.37), grafit c (Gambar 4.38)



Gambar 4.36 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit a 2 – 10 jam



Gambar 4.37 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit b 2 – 10 jam



Gambar 4.38 Voltamogram larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit c 2 – 10 jam

Berdasarkan hasil voltamogram menggunakan sampel membran grafit pensil menunjukkan sinyal yang jelas untuk pengujian larutan $K_4[Fe(CN)_6]$. Hal itu ditunjukkan dengan adanya sinyal puncak oksidasi dan puncak reduksi. Namun untuk hasil nilai potensial dari membran grafit tidak dapat dilakukan perbandingan uji F uji t dengan nilai potensial elektroda komersil dikarenakan hanya dapat bertahan sebanyak 5 kali pengukuran yaitu dapat menunjukkan sinyal sampai pada pengukuran tiap 2 jam ke-5. Sedangkan pada pengukuran tiap 2 jam ke-6 tidak memberikan sinyal. Dari data voltamogram di atas diperoleh nilai-nilai potensial oksidasi dari larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ menggunakan membran grafit a (Tabel 4.75), grafit b (Tabel 4.76), grafit c (Tabel 4.77).

Tabel 4.75 Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit a

Waktu (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
4	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
6	0.33	0.34	0.33	0.33	0.33
8	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31
10	0.3	0.31	0.3	0.3	0.3

Tabel 4.76 Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit b

Waktu (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0.31	0.32	0.31	0.31	0.31
4	0.32	0.33	0.33	0.32	0.32
6	0.31	0.32	0.32	0.32	0.31
8	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31
10	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

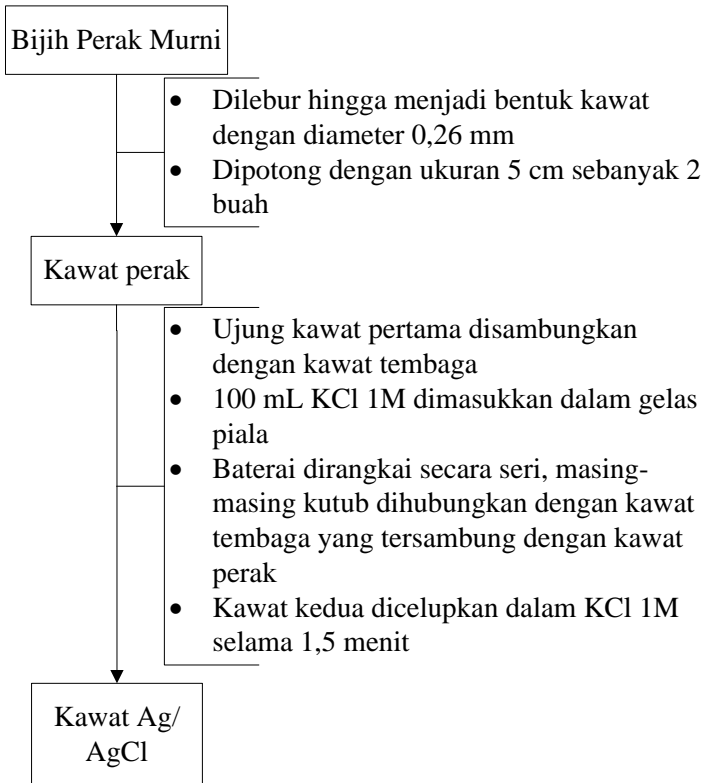
Tabel 4.77 Potensial oksidasi larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ dengan elektroda bermembran grafit c

Waktu (jam)	Potensial (volt)				
	1	2	3	4	5
2	0.3	0.31	0.31	0.31	0.31
4	0.32	0.32	0.33	0.33	0.33
6	0.31	0.32	0.31	0.32	0.32
8	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31
10	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

LAMPIRAN

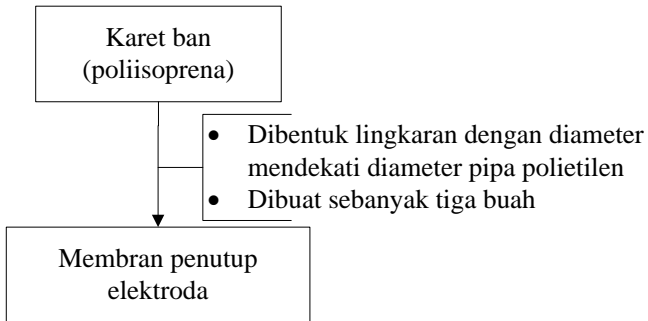
Skema kerja

1. Pelapisan Ag/AgCl

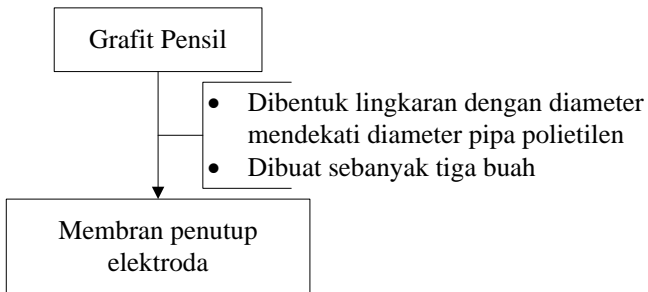


2. Pembuatan Membran

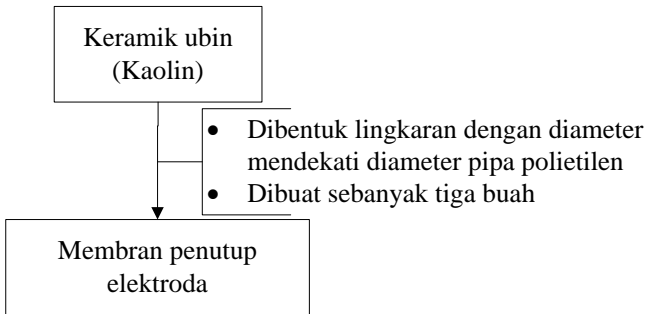
- **Poliisoprena**



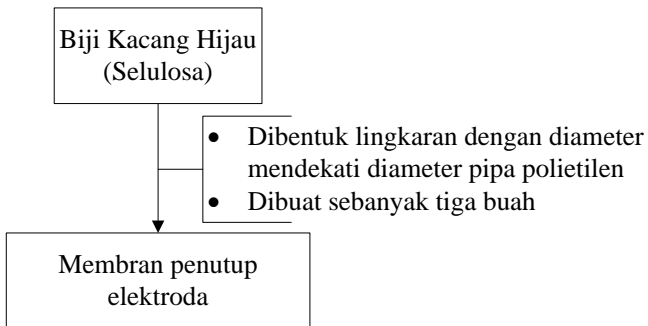
- **Grafit pensil**



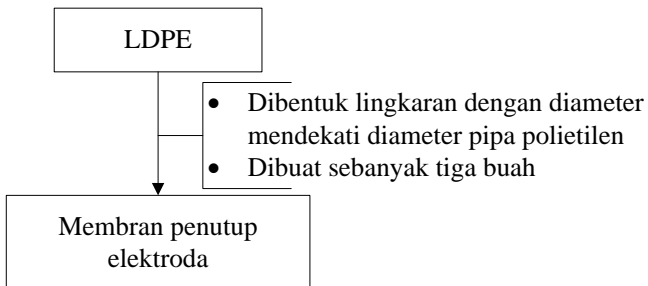
- **Kaolin**



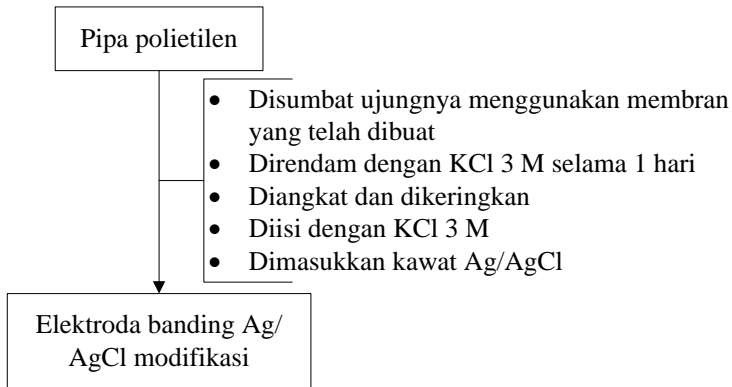
- **Selulosa**



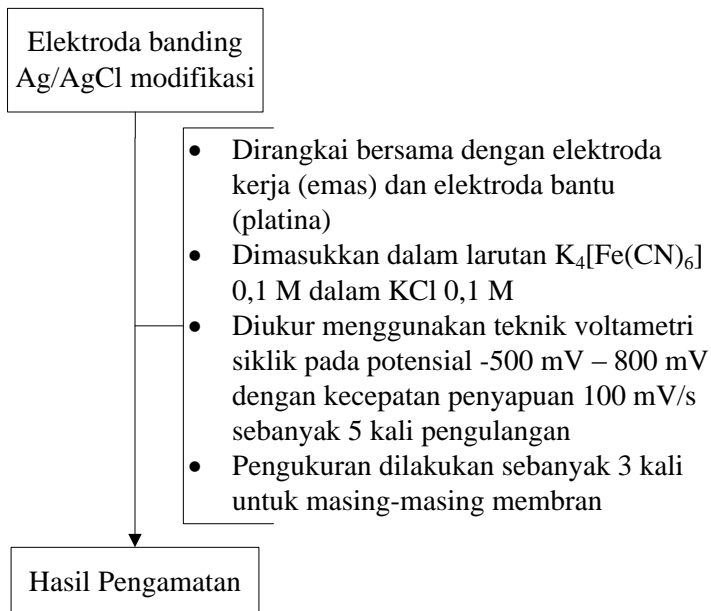
- **LDPE**



3. Pembuatan Elektroda Pembanding Ag/AgCl



4. Pengukuran Elektroda Ag/AgCl



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Analisa elektrokimia merupakan salah satu teknik yang mendapat perhatian saat ini. Hal ini disebabkan karena instrumen yang dipergunakan relatif dalam ukuran yang kecil, biaya operasional murah serta pengoperasian yang mudah. Parameter pengukuran dapat berupa arus listrik, potensial listrik, muatan listrik, impedansi maupun kapasitan (Rouessac, 2007). Pada umumnya pengukuran secara elektrokimia menggunakan elektroda. Pengukuran ini bisa menggunakan sistem dua elektroda maupun tiga elektroda. Berdasarkan fungsinya, elektroda digolongkan menjadi tiga kategori: elektroda kerja, elektroda banding, dan elektroda bantu (Harvey, 2000).

Elektroda kerja merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi dan oksidasi, yang memberikan respon dari analit yang akan diuji. Elektroda pembanding merupakan elektroda setengah sel yang diketahui nilai potensialnya. Potensial yang diaplikasikan merupakan beda potensial antara elektroda kerja dengan elektroda pembanding. Dalam sistem dua elektroda elektron akan mengalir lewat elektroda pembanding. Sehingga pada sistem ini sulit digunakan untuk mempertahankan potensial konstan dalam elektroda, akibatnya elektroda pembanding mempunyai kemungkinan ikut bereaksi (mengalami perubahan). Kekurangan ini diperbaiki dalam sistem tiga elektroda. Dengan memberikan impedansi yang besar pada elektroda pembanding, elektron disuplai dari elektroda ketiga yaitu elektroda bantu/kounter. Walaupun sistem tiga elektroda lebih sempurna, namun sistem dua elektroda sering digunakan karena lebih sederhana (Bard, 1980). Prasyarat utama dari elektroda pembanding, potensialnya harus diketahui pasti dan tidak berubah selama

digunakan. Contoh elektroda yang telah dikenal secara luas yaitu Elektroda Hidrogen Standar (EHS), Elektroda Kalomel Jenuh (EKJ), Elektroda Merkuri/Merkuri Sulfat, dan Elektroda Ag/AgCl. Elektroda Ag/AgCl merupakan elektroda yang terdiri dari logam perak yang dilapisi dengan perak klorid, larutan KCl, dan membran (Robinson, 2005).

Gao P. dkk telah memodifikasi elektroda pembanding Ag/AgCl dengan menggunakan selubung kuarsa yang diuji dalam larutan CaCl_2 . Penelitian ini menunjukkan kinerja yang baik dalam hal reproduksibilitas dan stabilitas dalam percobaan dengan variasi suhu (700 - 950 °C) dan waktu penggunaan (dari jam sampai hari). Kuarsa digunakan sebagai selubung dan membran dalam percobaan ini. Kuarsa tahan pada suhu tinggi lebih dari 1200°C dan bersifat konduktif. Kuarsa juga tahan dalam garam klorida cair. Pembuatan elektroda ini membutuhkan teknik khusus layaknya pembuatan alat dengan bahan dasar kaca, mulai dari pembentukan kaca serta teknik meniup kaca sehingga terbentuk sesuai dengan ukuran yang benar. Penelitian dari elektroda Ag/AgCl dengan kuarsa sebagai membran dan selubung menunjukkan hasil stabil, reversibel, bebas dari kontaminan, dan dapat lagi digunakan dalam sistem yang sama maupun berbeda. Membran ini bersifat stabil dan konduktif terhadap larutan yang diuji berdasarkan pada penelitian yang sebelumnya, hal ini yang menjadi dasar penelitian ini dilakukan.

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi elektroda Ag/AgCl dengan menggunakan membran yang berbeda, membran tersebut mempunyai sifat berpori dan stabil terhadap larutan yang akan diuji dengan teknik pembuatan elektroda yang lebih sederhana. Membran yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, karet ban bekas, biji kacang hijau, keramik porselin, LDPE, grafit pensil. Dalam penelitian ini juga membuat bentuk elektroda Ag/AgCl yang lebih kecil dibandingkan dengan elektroda yang diproduksi secara masal. Hal ini

dilakukan karena perkembangan teknologi yang menuntut semua menjadi lebih praktis dari sisi tempat dan waktu. Dengan pengeluaran dalam pembuatan elektroda ini lebih murah dan mudah.

1.2 Permasalahan

Elektroda pembanding yang diproduksi secara masal umumnya menggunakan membran berupa silika. Banyak bahan yang ada di lingkungan sekitar yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti silika sebagai membran. Perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kinerja elektroda pembanding dengan bahan alternatif pengganti silika sebagai membran.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kinerja elektroda pembanding dengan bahan dasar membran berupa LDPE, kaolin, selulosa, poliisoprena dan grafit. Pengujian tersebut dilakukan dengan larutan $K_4[Fe(CN)_6]$ menggunakan metode voltametri siklik. Kinerja elektroda pembanding menggunakan bahan alternatif pengganti silika sebagai membran dipelajari dengan membandingkan puncak oksidasi dan reduksi pada voltamogram elektroda pembanding modifikasi dengan elektroda pembanding komersil. Metode uji F dan uji t digunakan untuk membandingkan nilai puncak oksidasi dan reduksi antara elektroda pembanding modifikasi dengan elektroda pembanding komersil.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kinerja dari elektroda modifikasi dengan bahan alternatif pengganti silika sebagai membran pada elektroda pembanding.

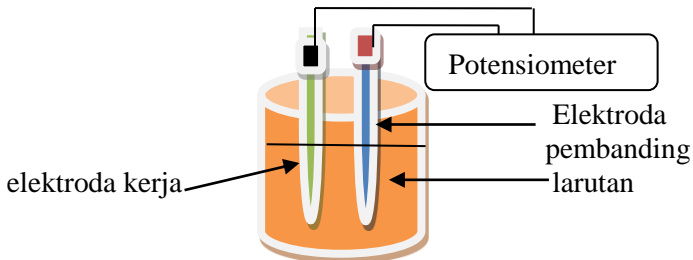
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Potensiometri

Potensiometri merupakan metode analisis berdasarkan pengukuran sel elektrokimia yang disertai dengan terjadinya arus. Sejak abad ke-20, teknik potensiometri digunakan untuk menandai titik akhir titrasi. Pada perkembangannya, konsentrasi ion ditentukan secara langsung dari potensial membran selektif ion (Skoog, dkk, 1998).

Terdapat dua jenis potensiometri, yaitu mengukur secara langsung besarnya potensial elektroda dari aktifitas ion aktif yang sedang dipelajari dan mengukur perubahan gaya gerak listrik karena penambahan titran ke dalam sampel. Potensial elektroda tidak dapat diukur sendiri tetapi dapat ditentukan dengan menggabungkan antara elektroda indikator dengan elektroda pembanding yang memiliki nilai potensial tetap selama pengukuran (Zulaekha, 2006). Gambar 2.1 merupakan contoh rangkaian potensiometri dengan menggunakan dua elektroda.



Gambar 2.1 Sel potensiometri

Potensial elektroda indikator tergantung kepada aktivitas ion-ion tertentu di dalam larutan. Aktivitas ion dalam larutan dapat dihitung dari harga potensial yang terukur dengan persamaan Nernst (persamaan 2.1).

$$E = E^{\circ} + \left(\frac{RT}{zF}\right) \ln[A] \quad (2.1)$$

di mana A adalah konsentrasi ion yang diukur, z_A adalah muatan ion yang diukur, R (tetapan gas) = 8,314 J/Kmol, F (bilangan Faraday) = 96487 C/mol, dan T adalah suhu mutlak (K). Besarnya potensial sel diukur dengan menggunakan persamaan 2.2.

$$E_{\text{sel}} = E_{\text{ind}} - E_{\text{ref}} + E_j \quad (2.2)$$

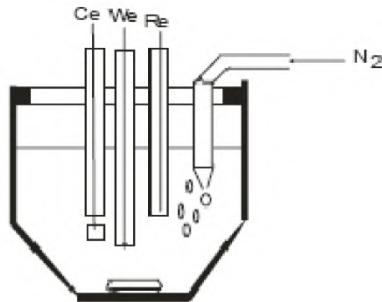
di mana E_{sel} adalah potensial sel, E_{ind} adalah potensial elektroda indikator, E_{ref} merupakan besarnya potensial elektroda pembanding, dan E_j besarnya potensial jembatan garam. Apabila potensial jembatan garam tetap, maka E_{sel} merupakan fungsi dari potensial elektroda indikator.

2.2. Voltametri

Voltametri merupakan metode elektrokimia dengan mengamati arus pada pemberian potensial tertentu. Voltametri berasal dari kata *volt-amperro-metry*. Kata *volt* menunjuk pada potensial, *amperro* menunjuk pada kata arus, sedangkan *metry* menunjuk pada pengukuran atau penghitungan. Oleh karena itu, voltametri dapat diartikan sebagai cara pengukuran dari adanya arus dengan potensial yang berbeda pada suatu elektroda kerja. Munculnya arus dikarenakan terjadinya reaksi oksidasi dan reduksi pada permukaan elektroda. Arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan konsentrasi analit dalam larutan. (Skoog, dkk, 1998)

Seiring dengan kemajuan elektrokimia, teknik voltametri juga mengalami perkembangan yang cukup pesat dengan semakin akuratnya pemberian potensial dan pengukuran arus. Beberapa aplikasi voltametri diantaranya adalah untuk analisis dibidang lingkungan, farmasi, sintesis senyawa kompleks, dan sintesis senyawa organik (Skoog, dkk, 1998).

Sel voltametri terdiri dari elektroda kerja, elektroda pembantu, dan elektroda pembanding. Ketiga elektroda tersebut direndam dalam sel voltametri yang berisi larutan sampel seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sel Voltametri (Wang, 2000)

Potensial luar diberikan antara elektroda kerja dan elektroda pembanding. Apabila terjadi reaksi oksidasi maupun reduksi pada elektroda kerja, arus yang dihasilkan akan dilewatkan ke elektroda pembantu, sehingga reaksi terjadi pada elektroda pembantu akan berlawanan dengan reaksi yang terjadi pada elektroda kerja. Arus yang muncul diukur menggunakan amperemeter (A). Antara elektroda kerja dan elektroda pembanding diberikan tahanan (R) yang cukup tinggi agar arus tidak melewati elektroda kerja dan elektroda pembanding. Hal ini dilakukan karena jika terjadi reaksi pada elektroda pembanding, maka potensialnya akan berubah dan mengakibatkan elektroda pembanding menjadi rusak (Harvey, 2000).

2.2.1 Elektroda Kerja

Elektroda kerja merupakan elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi-oksidasi analit. Kinerja prosedur voltametri sangat dipengaruhi oleh material dari elektroda kerja. Elektroda kerja harus mempunyai sinyal yang kuat untuk mengarakterisasi. Elektroda kerja yang sering digunakan adalah elektroda padat. Material yang biasa digunakan sebagai elektroda padat adalah platina, emas, perak, nikel, dan karbon. Beberapa jenis elektroda kerja yaitu:

(1) Elektroda Merkuri

Merkuri dipilih sebagai bahan pembuat elektroda, sebab merkuri memiliki overpotensial yang tinggi untuk evolusi hidrogen, rentang potensial yang lebar, reproduisibilitas yang tinggi, permukaan yang dapat diperbaiki secara kontinyu. Kekurangan elektroda ini yaitu rentang potensial anoda yang terbatas (merkuri teroksidasi) dan bersifat beracun.

(2) Elektroda Padatan

Elektroda padatan memiliki rentang potensial yang lebih lebar dibandingkan dengan elektroda merkuri. Contohnya elektroda padatan yaitu karbon, platina, dan emas. Elektroda perak, nikel, dan tembaga digunakan untuk aplikasi yang lebih spesifik. Faktor yang penting dari elektroda padatan yaitu respon arus yang tergantung pada permukaan elektroda sehingga permukaan elektroda membutuhkan perlakuan yang khusus sebelum digunakan untuk mendapatkan keberulangan yang baik. Perlakuan tersebut tergantung bahan yang digunakan sebagai elektroda. Elektroda padat cenderung mempunyai permukaan kasar yang berpengaruh pada aktivitas elektrokimia.

(Wang, 2000).

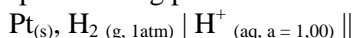
2.2.2 Elektroda Pembanding

Elektroda pembanding merupakan elektroda dengan nilai potensial setengah sel yang diketahui, konstan, dan tidak bereaksi dengan larutan yang sedang dianalisis. Elektroda pembanding memberikan potensial yang stabil terhadap elektroda kerja yang dibandingkan. Elektroda yang umum digunakan yaitu:

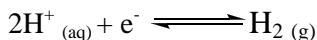
(1) Elektroda Standar Hidrogen

Elektroda standar hidrogen jarang digunakan dalam analisa elektrokimia, tapi elektroda ini sangat penting karena elektroda ini digunakan sebagai keadaan

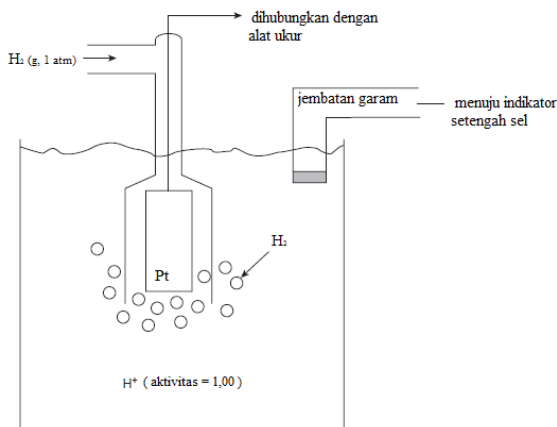
standar potensial untuk setengah reaksi lainnya. Elektroda standar hidrogen terdiri dari elektroda Pt yang direndam dalam larutan yang mengandung ion hidrogen dengan aktivitas ion sebesar 1 dan terdapat gelembung gas H_2 pada tekanan 1 atm. Jembatan garam berfungsi sebagai penghubung antara elektroda standar hidrogen dengan indikator setengah sel. Reaksi elektroda pembanding primer :



Reaksi potensial standar



Nilai potensial yang dihasilkan dari elektroda standar hidrogen adalah 0,00 V dalam segala suhu. Skema elektroda standar hidrogen ditampilkan pada Gambar 2.3. (Harvey, 2000)

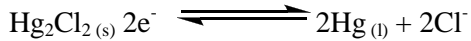


Gambar 2.3 Skema elektroda standar hidrogen (Harvey, 2000)

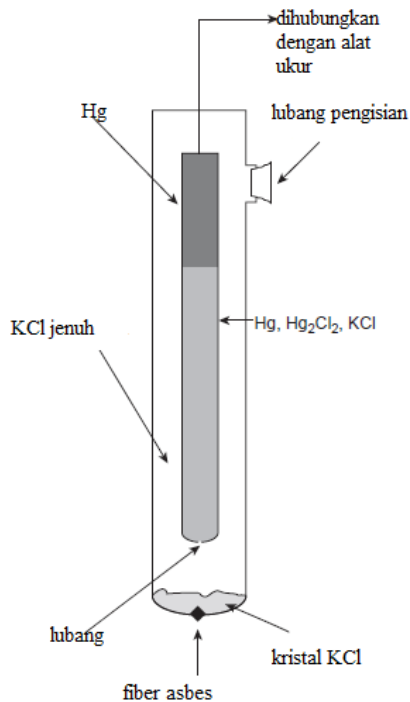
(2) Elektroda Kalomel Jenuh (EKJ)

Elektroda kalomel jenuh merupakan elektroda yang berbasis pada reaksi reduksi oksidasi antara Hg_2Cl_2

dengan Hg. Reaksi elektroda dapat dituliskan sebagai berikut :



Elektroda kalomel jenuh disusun dengan menggunakan larutan KCl jenuh yang memiliki potensial +0,244 V pada suhu 25 °C, tabung bagian dalam berisi pasta Hg, Hg_2Cl_2 , dan KCl jenuh, sedangkan tabung bagian luar berisi larutan KCl. Diantara kedua tabung dihubungkan dengan lubang kecil dan sebuah fiber yang berfungsi sebagai jembatan garam. Skema susunan elektroda kalomel jenuh ditunjukkan pada Gambar 2.4. (Harvey, 2000)

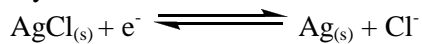


Gambar 2.4 Skema elektroda kalomel jenuh (Harvey, 2000)

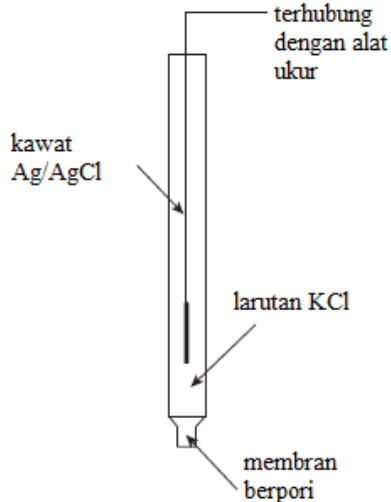
Potensial sel ini bergantung pada konsentrasi ion klorida (x), dan harga konsentrasi ini harus dituliskan untuk menjelaskan elektroda, Harga potensial E_{KJ} paa konsentrasi ion klorida jenuh 0,244 V pada 25° C dibandingkn terhadap elektroda hidrogen standar.

(3) Elektroda Perak/Perak Klorida

Elektroda perak/perak klorida didasarkan pada reaksi reduksi oksidasi antara AgCl dengan Ag. Reaksi setengah selnya adalah :



Secara umum, elektroda ini terbuat dari larutan jenuh KCl atau KCl 3,5 M. Nilai potensial elektroda tersebut sebesar 0,199 V untuk larutan KCl jenuh dan 0,205 V untuk larutan KCl 3,5 M pada 25° C. Elektroda ini dapat digunakan pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda kalomel. Gambar 2.5 menunjukkan skema susunan elektroda perak/perak klorida.



Gambar 2.5 Skema elektroda Ag/AgCl (Harvey, 2000)
(Harvey, 2000; Zulekha, 2006))

2.2.3 Elektroda Pembantu

Elektroda pembantu dikendalikan oleh potensiostat untuk kesetimbangan arus difusi pada elektroda kerja dengan transfer elektron ke arah sebaliknya. Jika terjadi reduksi pada elektroda kerja maka terjadi reaksi oksidasi pada elektroda pembantu. Elektroda pembantu yang digunakan harus bersifat inert seperti kawat platina atau batang karbon, dimana fungsinya adalah sebagai pembawa arus (Harvey, 2000).

2.3. Arus Dalam Voltametri

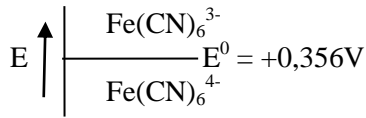
Ketika analit dioksidasi pada elektroda kerja, arus elektron melalui sirkuit eksternal menuju elektroda bantu, dimana reduksi pelarut atau komponen matriks larutan terjadi. Reduksi analit pada elektroda kerja memerlukan sumber elektron, sehingga menghasilkan arus yang mengalir dari elektroda bantu ke katoda. Arus yang muncul dari elektroda kerja dan elektroda bantu disebut arus Faraday.

Tanda pada arus yang ditetapkan berdasarkan reaksi yang terjadi pada elektroda kerja. Arus yang muncul dari reaksi reduksi analit disebut arus katoda dan diberi tanda positif. Arus anodik berasal dari reaksi oksidasi dan diberi tanda negatif.

Pengaruh potensial yang diberikan terhadap arus Faraday terlihat ketika larutan Fe(CN)_6^{3-} , Fe(CN)_6^{4-} dan potensial elektroda kerja, sesuai persamaan Nernst (persamaan 2.3).

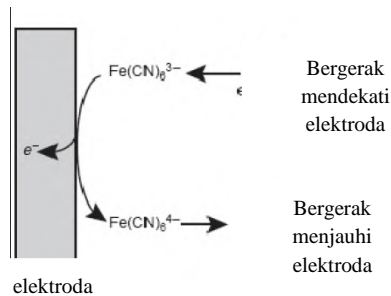
$$E = +0,356 - 0,05916 \log \frac{\text{Fe(CN)}_6^{4-}}{\text{Fe(CN)}_6^{3-}} \quad x = 0 \quad (2.3)$$

Dimana +0,356 adalah potensial reduksi standar $\frac{\text{Fe(CN)}_6^{4-}}{\text{Fe(CN)}_6^{3-}} \quad x = 0$. Hal ini mengindikasikan konsentrasi Fe(CN)_6^{3-} dan Fe(CN)_6^{4-} di permukaan elektroda. Diasumsikan larutan Fe(CN)_6^{3-} dengan konsentrasi 1,0 mM dan tidak ada Fe(CN)_6^{4-} , maka diagram Ladder untuk reaksi oksidasi tersebut seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram Ladder (Harvey, 2000)

Jika potensial sebesar 0,530 V diberikan pada elektroda kerja, maka konsentrasi Fe(CN)_6^{3-} dan Fe(CN)_6^{4-} pada permukaan elektroda tidak berpengaruh dan tidak ada arus Faraday yang terukur. Pada potensial 0,356 V, menghasilkan $\text{Fe(CN)}_6^{4-}{}_{x=0} = \text{Fe(CN)}_6^{3-} = 0,50 \text{ mM}$, yang hanya mungkin jika setengah dari Fe(CN)_6^{3-} pada permukaan elektroda direduksi menjadi Fe(CN)_6^{4-} . Jika semua itu terjadi pada potensial yang diberikan, akan menghasilkan arus Faraday yang dengan cepat kembali ke posisi nol. Meskipun konsentrasi Fe(CN)_6^{4-} pada permukaan elektroda 0,5 mM, konsentrasi pada bahan larutan adalah nol. Akibatnya terjadi gradien konsentrasi antara larutan di permukaan elektroda dengan badan larutan. Gradien konsentrasi menimbulkan gaya gerak yang memindahkan Fe(CN)_6^{4-} menjauhi elektroda (Gambar 2.7). Berkurangnya Fe(CN)_6^{4-} di permukaan elektroda memungkinkan reduksi Fe(CN)_6^{3-} berlanjut, sehingga terjadi perpindahan dari badan larutan menuju permukaan elektroda. Jadi arus Faraday mengalir terus hingga tidak ada perbedaan konsentrasi antara Fe(CN)_6^{3-} dengan Fe(CN)_6^{3-} di permukaan elektroda maupun di badan larutan (larutan uji).



Gambar 2.7 Transport ion Fe(CN)_6^{3-} menuju elektroda
 Fe(CN)_6^{4-} menjauhi elektroda (Harvey,2000)

Meskipun potensial yang diberikan pada elektroda menentukan arus Faraday yang mengalir, besarnya arus ditentukan oleh kecepatan reaksi oksidasi reduksi pada permukaan elektroda. Dua faktor yang berkontribusi terhadap laju reaaaksi elektrokimia, yaitu laju reaktan dari dan menuju permukaan elektroda serta laju elektron bergerak diantara elektroda, reaktan dan produk dalam larutan (Harvey, 2000).

2.4. Arus Non Faraday

Arus Faraday berasal dari reaksi redoks pada permukaan elektroda. Arus lain juga muncul dari suatu sel elektrokimia yang tidak berhubungan dengan reaksi redoks. Arus ini disebut arus non Faraday dan terhitung jika komponen arus Faraday telah ditentukan.

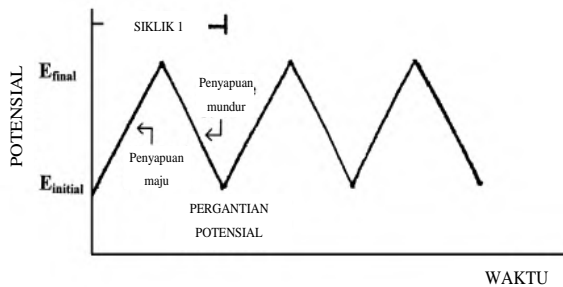
Contoh terbentuknya arus non Faraday adalah ketika potensial elektroda diubah. Migrasi menyebabkan partikel bermuatan negatif dalam larutan akan menuju elektroda yang bermuatan positif, dan partikel bermuatan positif akan menuju elektroda negatif. Ketika larutan elektrolit dapat merespon migrasi, hasilnya adalah terbentuknya lapisan pada permukaan elektroda yang terstruktur yang disebut lapisan rangkap listrik, *Electrical Double Layer* (EDL). Pergerakan partikel bermuatan dalam larutan meningkatkan arus non

Faraday yang singkat. Mengubah potensial elektroda akan mengubah struktur EDL dan menghasilkan arus muatan yang kecil (Harvey,2000).

2.5. Voltametri Siklik

Voltametri siklik merupakan teknik voltametri dimana arus yang diukur selama penyapuan potensial dari potensial awal ke potensial akhir dan kembali lagi ke potensial awal atau disebut juga penyapuan (*scanning*) dapat dibalik kembali setelah reaksi berlangsung. Dengan demikian arus anodik maupun katodik dapat terukur. Arus katodik adalah arus yang digunakan pada penyapuan dari potensial paling besar menuju potensial paling kecil, sedangkan arus anodik adalah sebaliknya yaitu arus yang digunakan pada saat penyapuan dari potensial yang paling kecil menuju potensial yang paling besar (Mursyida, 2006).

Voltametri siklik terdiri dari siklus potensial dari suatu elektroda yang dicelupkan ke dalam larutan yang tidak diaduk yang mengandung spesi elektroaktif dan mengukur arus yang dihasilkan. Potensial elektroda kerja diatur oleh elektroda pembanding seperti elektroda kalomel jenuh (EKJ) atau perak/perak klorida. Pengontrol potensial yang digunakan pada dua elektroda dapat dianggap sebagai sinyal eksitasi. Sinyal eksitasi pada voltametri siklik adalah penyapuan potensial linear dengan gelombang segitiga seperti yang diberikan pada Gambar 2.8.

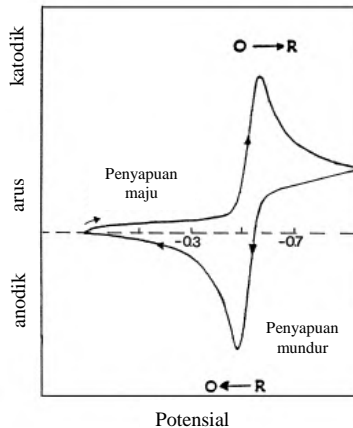


Gambar 2.8 Siklus voltametri siklik (Scholz, 2010)

Potensial sinyal eksitasi segitiga menyapu potensial elektroda antara dua nilai. Sinyal eksitasi pada Gambar diatas menyebabkan potensial pertama untuk penyapuan negatif, dari +0,80 (potensial awal) ke -0,20 (potensial akhir) versus EKJ, sedangkan titik arah penyapuan balik (*switching potential*) menghasilkan penyapuan positif kembali ke potensial awal 0,80 V. Kecepatan penyapuan terlihat pada kemiringan garis yaitu 50 mV per detik.

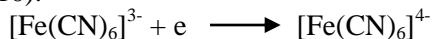
Voltametri siklik diperoleh dengan mengukur arus pada elektroda kerja selama penyapuan potesial. Arus dapat dianggap sebagai respon sinyal terhadap potensial eksitasi. Voltamogram yang dihasilkan merupakan kurva antara arus (pada sumbu vertikal) versusu potensial (sumbu horizontal). Saat variasi potensial linear terhadap waktu, sumbu horizontal dapat dianggap sebagai sumbu waktu.

Gambar 2.6 dibawah merupakan voltamogram siklik dengan menggunakan elektroda kerja platina pada larutan yang mendukung $K_3Fe(CN)_6$ 6,0 mM sebagai spesies elektroaktif alam larutan KNO_3 1,0 M sebagai elektrolit pendukung. Sinyal eksitasi potensial digunakan untuk memperoleh voltamogram pada Gambar 2.5 tetapi dengan pemindahan potensial negatif sebesar -0,15 V. Dengan demikian sumbu vertikal pada Gambar 2.8 menjadi sumbu horisontal pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Voltamogram elektroda platina

Potensial awal (E_i) sebesar 0,80 V diterapkan pada elektroda (a dalam Gambar 2.9) dipilih untuk menghindari terjadinya elektrolisis $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ saat elektroda diaktifkan. Selanjutnya dilakukan penyapuan negatif (scan maju). Ketika potensial cukup negati mereduksi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ arus katodik iindikasikan oleh (b) karena proses elektroda, sehingga cukup kuat untuk mereduksi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ menjadi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ((Scholz, 2010).



Arus katodik meningkat dengan cepat (b \longrightarrow d) sampai konsentrasi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ pada permukaan elektroda berkurang sehingga arus ke puncak (d). Arus menurun ketika larutan (d g) $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ di sekitar elektroda telah direduksi menjadi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$. Arah penyapuan kembali berbalik positif pada -0,15 V untuk penyapuan balik. Potensial masih cukup negatif untuk mereduksi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ sehingga arus katodik terus berlanjut terus meskipun potensial melakukan penyapuan ke arah positif. Ketika elektroda menjadi oksidan kuat,

$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ yang terakumulasi pada elektroda akan teroksidasi dengan reaksi sebagai berikut :



Oksidasi yang terjadi pada arus anodik (i k). Arus anodik meningkat cepat sampai konsentrasi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ berkurang dihasilkan puncak (j). Arus kemudian menurun (j ---- k) karena lautan sekitar elektroda direduksi menjadi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$. Siklus pertama selesai ketika potensial kembali ke +0,80 V. Dalam hal ini jelas bahwa potensial positif $\pm 0,40$ V akan cocok sebagai potensial awal pada reduksi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$. Pada penyapuan awal, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ secara elektrokimia berasal dari $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ yang diindikasikan oleh arus katodik ketika dilakukan penyapuan balik, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ dioksidasi kembali menjadi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ yang diketahui dari arus anodik. Potensial sinyal eksitasi tergantung pada rasio $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ pada permukaan elektroda mengikuti persamaan 2.4 untuk sistem reversibel berikut :

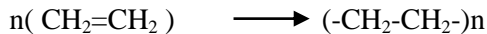
$$E = E^0_{([\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-})} \quad (2.4)$$

Dengan E^0 merupakan potensial reduksi dari sampel. Nilai awal E yang cukup positif dari E^0 mempertahankan rasio dimana $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ sangat mendominasi. Dengan demikian penggunaan potensial awal +0,80 V arus diabaikan namun penyapuan E yang negatif, konversi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ menjadi $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ memenuhi persamaan Nerst. Perbandingan keadaan reaksi oksidasi yang ada pada permukaan elektroda pada beberapa potensial selama penyapuan ditunjukkan pada sumbu x Gambar 2.6. Hubungan logaritmik antara E dan $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ditunjukkan oleh kecepatan perubahan arus yang sangat besar pada daerah $E = E^0$ yaitu $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} = 1$. Hal ini disebabkan karena meningkatnya arus katodik (b - d) selama penyapuan awal.

(Scholz, 2010).

2.6. LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Polietilena adalah salah satu jenis dari resin termoplastik yang dihasilkan dari polimerisasi gas etilena. Konversi etilen menjadi polietilen (PE) secara komersial semula dilakukan dengan tekanan yang tinggi, namun ditemukan cara tanpa menggunakan tekanan tinggi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Polietilen merupakan film yang lunak, transparan dan fleksibel, mempunyai kekuatan benturan serta kekuatan sobek yang baik. Dengan pemanasan akan menjadi lebih lunak dan mencair pada suhu 110°C. Berdasarkan sifat permeabilitasnya yang rendah serta sifat-sifat mekaniknya yang baik, polietilen mempunyai nilai ketebalan 0,001 sampai 0,01 inci, yang banyak digunakan sebagai pengemas makanan. Karena sifatnya yang termoplastik, polietilen murah dibuat kantung dengan derajat kerapatan yang baik (Mimi, 2002).

Polietilen dibuat dengan proses polimerisasi adisi dari gas etilen yang diperoleh dari hasil samping dari industri minyak dan batu bara. Proses polimerisasi yang dilakukan ada dua macam, yakni polimerisasi yang dilakukan dalam bejana bertekanan tinggi (1000-3000 atm) menghasilkan molekul makro yang mempunyai banyak percabangan yakni campuran rantai lurus dan bercabang (Massey, 2004). Cara kedua, polimerisasi dalam bejana bertekanan rendah (10-40 atm) menghasilkan molekul makro berantai lurus dan tersusun paralel.

Polietilena dikelompokkan berdasarkan densitas yaitu:

1. 0,880 - 0,915 g/cm³ (very low density)
2. 0,910 - 0,925 g/cm³ (low density)
3. 0,926 - 0,940 g/cm³ (medium density)
4. 0,941 - 0,965 g/cm³ (high density)



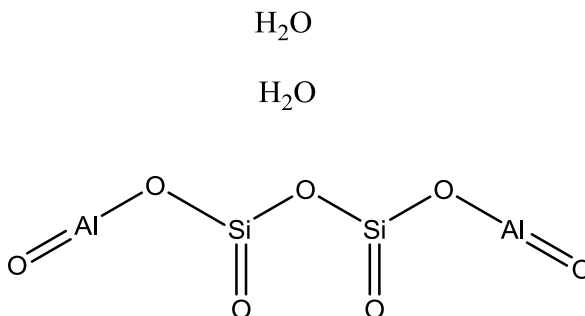
Gambar 2.10 Butiran LDPE

LDPE merupakan polimer dari senyawa etilena $\text{CH}_2=\text{CH}_2$, dengan nama umum low density polyethylene dengan struktur kimia $[-\text{CH}_2\text{CH}_2-]$. Proses pembentukan LDPE terjadi pada suhu $132\text{--}332^\circ\text{C}$ dengan waktu $100\text{--}300$ jam pada tekanan $150\text{--}300$ MPa. LDPE memiliki tingkat kristalinitas $28,8\text{--}60\%$ dengan type kristal ortorombik. Penerapan penggunaan LDPE dalam kehidupan saat ini yaitu sebagai penutup mobil, plastik wrap (Gambar 2.10), pembungkus roti, dan botol minuman sekali pakai (Wypych, 2016). Salah satu pemanfaatan LDPE dalam kehidupan sehari – hari adalah digunakan sebagai bahan pengemas dan pelapis pada kertas. Hal ini dikarenakan LDPE mempunyai sifat yang fleksibel (Mimi, 2002).

2.7. Keramik

Keramik adalah lapisan tipis yang terbuat dari tanah liat dan material anorganik pendukung, umumnya digunakan sebagai penutup lantai dan dinding (ISO 13006, 2012). Bahan keramik terdiri dari fasa kompleks yang merupakan senyawa unsur metal dan non metal yang terikat secara ionik maupun kovalen. Keramik pada umumnya mempunyai struktur kristalin dan sedikit elektron bebasnya. Susunan kimia keramik sangat bermacam-macam yang terdiri dari senyawa yang sederhana hingga campuran beberapa fasa kompleks.

Hampir semua keramik merupakan senyawa senyawa antara unsur elektropositif dan elektronegatif. Keramik memiliki sifat-sifat antara lain mudah pecah dan getas. Kekuatan dan ikatan keramik menyebabkan tingginya titik lebur, tahan korosi, rendahnya konduktivitas termal, dan tingginya kekuatan kompresif dari material tersebut. (Debora, 2008).

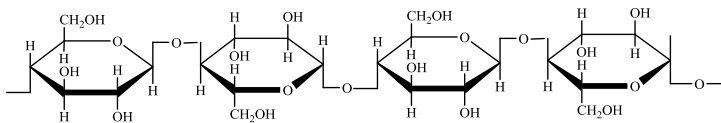


Gambar 2.11 Struktur kaolin merupakan salah satu penyusun keramik ubin

Tanah liat merupakan bahan utama dalam pembuatan keramik ubin. Dalam tanah liat mengandung senyawa kaolin ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) sebagai material dominan. Struktur senyawa kaolin ditampilkan pada Gambar 2.11 (Dondi, dkk., 2014).

2.8. Kacang Hijau

Kacang hijau termasuk salah satu jenis keluarga kacang-kacangan dengan nama latin *Vigna radiata*. Susunan tubuh dari tanaman kacang hijau terdiri atas akar, batang, daun, bunga, bauh, dan biji. Bentuk perakaran dari kacang hijau yaitu bercabang banyak dengan membentuk bintil-bintil akar (*nodulla*). Semakin banyak bintil-bintil pada akar, maka semakin tinggi kandungan nitrogen (N) untuk menyuburkan tanah.

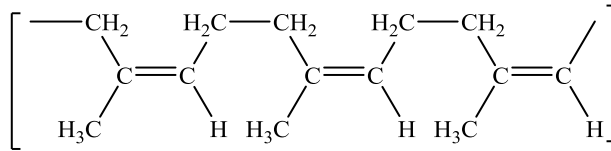


Gambar 2.12 Struktur selulosa

Selulosa merupakan senyawa yang banyak terkandung dalam kacang hijau. Struktur selulosa ditampilkan pada Gambar 2.12. Kandungan protein (asam amino) pada kacang hijau cukup lengkap yang terdiri dari asam amino esensial dan asam amino nonesensial (Amelia, 2011). Kacang hijau mengandung beberapa bahan bioaktif yang diketahui mampu mengurangi resiko serangan jantung koroner, diabetes, dan obesitas. Kacang hijau mengandung banyak fosfor dan provitamin A. Dengan kandungan protein yang tinggi yaitu tinggi akan *lysin* serta rendah *methionin* dan tinggi akan karbohidrat sangat cocok untuk diet. Kacang hijau mempunyai kandungan minyak nabati, serat, serta protein. Kandungan mineral dalam kacang hijau yaitu Fe, Cu, Mg, Na, K, Ca, dan Zn. Asam lemak yang dominan terkandung yaitu asam linoleat, asam linolenat, asam palmitat, serta asam oleat. Selain itu juga mengandung (*tocopherol*) vitamin E (Anwar, 2007).

2.9. Poliisoprena

Cis-1,4-poliisoprena (Gambar 2.13) merupakan senyawa terpenoid yang terdapat dalam beberapa spesies tumbuhan. Cis-1,4-poliisoprena umumnya dikenal dengan nama karet. Karet merupakan komposisi terbesar dalam lateks, contohnya 44,3% dalam *H. Brasiliensis*, 15-30% dalam *Ficus spp.*, dan 15,5% dalam *Alstonia boonei*.



Gambar 2.13 Struktur cis-1,4 poliisoprena

Terpenoid merupakan bagian dari senyawa berbasis karbon yang mengandung lima karbon isoprena. Beberapa fungsi terpenoid pada tanaman yaitu membantu proses penyerbukan, pertahanan, dan berperan dalam metabolisme primer, serta dihasilkan melimpah dalam lateks

(Anurag dan Konno, 2009).

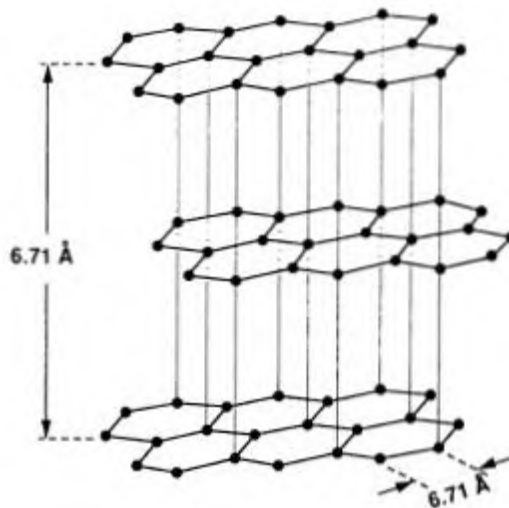
2.10. Grafit

Karbon C adalah salah satu elemen yang melimpah di bumi, karena hampir semua komponen organik terusun dari karbon dan sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari. Contohnya tinta pada koran, karbon (grafit) pada pensil, dan karbon aktif pada kulkas. Pada perkembangan terdahulu karbon hanya dimanfaatkan dalam bentuk batubara. Grafit lunak telah lama digunakan sebagai arang, dan karbon hitam sebagai tinta hitam. Kristal berlian tidak hanya menarik untuk dijadikan sebagai perhiasan, tetapi juga material yang keras tersebut juga terdiri dari atom karbon (Inagaki, 2014).



Gambar 2.14 Grafit (Inagaki, 2014)

Grafrit (Gambar 2.14) berasal dari bahasa Yunani yang berarti menulis. Pensil tulis yang diproduksi di pabrik-pabrik Inggris pada abad 15 berbahan dasar grafit (Pierson, 1993). Grafrit umumnya berbentuk serbuk yang dihasilkan dari bijih dengan melalui beberapa proses, yaitu penggilingan, pengendapan, dan pemurnian dengan menggunakan bahan kimia (Inagaki, 2014).



Gambar 2.15 Struktur Grafrit (Pierson, 1993)

Dengan kata lain grafit dapat dijelaskan sebagai material dengan struktur yang bagus tanpa suatu kekurangan apapun. Struktur grafit ditunjukkan pada Gambar 2.15. Grafrit mempunyai beberapa sifat yaitu tidak tembus cahaya, lebih lunak dari berlian, dan merupakan salah satu penghantar listrik (Pierson, 1993).